
DIPLOMARBEIT

Herr
Jan Müller

**Quantitative Bewertung von
Flachbandkabeln mittels
Bildverarbeitung**

Mittweida, 2011

DIPLOMARBEIT

Quantitative Bewertung von Flachbandkabeln mittels Bildverarbeitung

Autor:

Herr Jan Müller

Studiengang:

Automatisierungstechnik

Seminargruppe:

ET07wA-D

Erstprüfer:

Herr Prof. Dr. Günter Werner

Zweitprüfer:

Herr Dirk Naupert

Einreichung:

Mittweida, 19.08.2011

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2011

DIPLOMA THESIS

Quantitative benchmark of ribbon cable with image processing

author:

Mr. Jan Müller

course of studies:

Automation Engineering

seminar group:

ET07wA-D

first examiner:

Mr. Prof. Dr. Günter Werner

second examiner:

Mr. Dirk Naupert

submission:

Mittweida, 19.08.2011

defence/ evaluation:

Mittweida, 2011

Bibliografische Beschreibung:

Müller, Jan:

Quantitative Bewertung von Flachbandkabeln mittels

Bildverarbeitung. - 2011. - VII, 37, VI S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Elektro- und Informationstechnik,
Diplomarbeit, 2011

Referat:

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der industriellen Bildverarbeitung. Anhand einer Prüfanlage für eine Flachbandkabelproduktion wird erklärt, wie die noch auftretenden Fehler analysiert werden und aus diesen Informationen neue Methoden zur Verbesserung und Fehlerminimierung implementiert werden. Hierfür werden zwei Kamerasysteme unterschiedlicher Hersteller verglichen. Die Softwareanpassungen werden schließlich mit der Matrox Imaging Library umgesetzt und mit den Hardwareveränderungen in das bestehende System integriert.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
0 Einleitung.....	1
0.1 <i>Motivation.....</i>	1
0.2 <i>Aufgabenstellung.....</i>	1
0.3 <i>Kapitelübersicht.....</i>	1
1 Theoretische Grundlagen	3
1.1 <i>Der CCD-Sensor – Die Kamera.....</i>	3
1.2 <i>Optische Einflüsse / Störeinflüsse</i>	4
1.3 <i>Grundlagen zur Kantendetektion</i>	6
1.3.1 <i>Linearfilter</i>	8
1.3.2 <i>Sobel-Operator.....</i>	9
1.3.3 <i>Prewitt-Operator</i>	10
2 Hardware und Technik.....	11
2.1 <i>Aktuelle Situation bei Flachbandkabelhersteller</i>	11
2.2 <i>Der Versuchsstand.....</i>	12
2.3 <i>Vorstellung OMRON und Matrox.....</i>	13
2.3.1 <i>OMRON</i>	13
2.3.2 <i>Matrox</i>	15
2.3.3 <i>Auswahl</i>	16
3 Versuchsdurchführung.....	17
3.1 <i>Vorhandene Software.....</i>	17
3.2 <i>Analyse</i>	18
3.3 <i>Testinspektionen mit Inspector 9.0</i>	18

4	Umsetzungen.....	32
4.1	<i>Bediener–Interface</i>	32
4.2	<i>Überblick Quellcode</i>	35
5	Ergebnisse / Ausblick	37
5.1	<i>Ergebnisse</i>	37
5.2	<i>Ausblick.....</i>	37
Index	38
Literatur	40
Anlagen	41
Anlagen, Teil 1	A-1
Anlagen, Teil 2	A-2
Anlagen, Teil 3	A-3
Anlagen, Teil 4	A-4
Selbstständigkeitserklärung		

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbauprinzip eines CCD-Sensors (DeStSp2010, 230)	3
Abbildung 2: Verdeutlichung des Hygenschen Prinzips	4
Abbildung 3: Reflexion an einer Metallfläche	4
Abbildung 4: Diffuse Reflektion auf einer Oberfläche.....	5
Abbildung 5: Reflexion und Brechung bei Glas.....	5
Abbildung 6: Beugung an einer Kante	6
Abbildung 7: a) Zusammengesetztes Bild aus mehreren Zeilenbildern eines flexiblen Kabels von einer Zeilenkamera b) dazugehörige Grauwertfunktion.....	7
Abbildung 8: Kantenpositionen nach Schwellwertfestlegung	7
Abbildung 9: Funktionsweise eines Linearfilters (DeStSp2010, 46)	8
Abbildung 10: Bild nach angewandtem Sobel-Filter	9
Abbildung 11: Bild nach angewandtem Prewitt-Filter.....	10
Abbildung 12: Kabeltyp A	11
Abbildung 13: Kabeltyp B	12
Abbildung 14: Zeilenbeleuchtung mit Milchglas und Messobjekt	12
Abbildung 15: OMRON Oberfläche	15
Abbildung 16: Programm bei Hersteller	17
Abbildung 17: Oberfläche Inspector 9.0 mit geöffneten Messfunktionen und Testcode .	19
Abbildung 18: Helligkeitsverlauf des Flächenlichtes	20
Abbildung 19: Aufnahme von 4 Kabeln auf Flächenlicht.....	21

Abbildung 20: a) Leuchtverteilung d. Flächenlichtes bei gering geschlossener Blende b) Leuchtverteilung d. Flächenlichtes bei weit geschlossener Blende.....	21
Abbildung 21: Belichtungszeit 1/100 ms.....	22
Abbildung 22: Belichtungszeit 1/40 ms.....	22
Abbildung 23: Aufnahme Zeilenkamera ohne Filter	23
Abbildung 24: Linienlicht mit Diffusor von Ringlicht.....	23
Abbildung 25: Linienlicht mit Milchglas	24
Abbildung 26: Darstellung Überlagerung der Abstrahlwinkel von LEDs	24
Abbildung 27: Abbildung 1.22 nach erfolgreicher Flat Field Correction.....	26
Abbildung 28: Flat Field Correction mit Kabelstreifen	26
Abbildung 29: Bild nach Entfernung der Kabelstreifen.....	26
Abbildung 30: Schimmer-Effekt bei Kabelstreifen.....	27
Abbildung 31: Veränderung des Schimmers bei Abstandsänderung	27
Abbildung 32: Bild und Histogramm vom Kalibrierglas	28
Abbildung 33: Einstellung Messung 1.....	29
Abbildung 34: Ergebnisse von Messung 1.....	29
Abbildung 35: Eingezeichnetes Rechteck.....	30
Abbildung 36: Auswahl Calibration mithilfe eines Gitters (Matrix)	30
Abbildung 37: Werte eintragen	30
Abbildung 38: Kopiereinstellungen der Calibration	31
Abbildung 39: Vergleich Messung 1 & Messung 2.....	31
Abbildung 40: Aufruf der automatischen Kalibrierung.....	32
Abbildung 41: Oberfläche nach Aufruf.....	33

Abbildung 42: Anzeige des geladenen Bildes.....	33
Abbildung 43: Bild mit hinzugefügter Leerzeile	34
Abbildung 44: Kalibriertes Bild und Parameter	34
Abbildung 45: Vorher-Nachher einer Kalibrierung	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: OMRON FZ-SC5M2 Merkmale	14
Tabelle 2: e2v AViiVA UM2 GE 4010 Merkmale	16

Abkürzungsverzeichnis

CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CMS	Cable Measurement Studio
FFC	Flat Field Correction
MIL	Matrox Imaging Library

0 Einleitung

0.1 Motivation

Die industrielle Bildverarbeitung ist mittlerweile nicht mehr wegzudenken aus den Produktionshallen. In allen Bereichen (Lebensmitteltechnik, Medizin, Automobilbau, ect.) werden zunehmend industrielle Kameralösungen integriert. Grund dafür ist die durchgehende Leistung und immer besser werdende Prüfalgorithmen. Sie sollen den Menschen ersetzen, der nicht 24 Stunden am Tag Werkstücke kontrollieren kann, ohne Müdigkeitserscheinungen zu haben.

Diese technische Entwicklung und die vielen Möglichkeiten machen das Thema industrielle Bildverarbeitung zukunftsweisend und interessant.

0.2 Aufgabenstellung

In einem Unternehmen, welches Flachbandkabel unterschiedlicher Formen herstellt, wird eine industrielle Zeilenkamera eingesetzt, um die Anwesenheit und den Abstand der Adern zueinander zu kontrollieren. Die Kabel werden mit einer konstanten Geschwindigkeit unter der Zeilenkamera entlang geführt. Aufgrund verschiedener Störeinflüsse ist diese Kontrolle nicht hundertprozentig funktionstüchtig. Sie ermöglicht zum Beispiel nur die Kontrolle eines Kabeltyps und weist Messfehler auf. Mein betreuender Betrieb hat mir zur Aufgabe gemacht, diese Einflüsse durch einen Versuchsaufbau nachzustellen und die Wirkung jedes Einzelnen zu dokumentieren. Dazu soll auch ein weiteres Kamerasystem auf eventuelle Tauglichkeit erprobt werden. Des Weiteren sollen Möglichkeiten gefunden werden, diese Störungen zu beseitigen um in weiteren Schritten diese umzusetzen. Die Diplomarbeit soll als Grundlage für Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Kontrolle dienen. Die Umsetzung soll daher nicht Bestandteil der Arbeit sein.

0.3 Kapitelübersicht

In *Kapitel 1* werden die theoretischen Grundlagen der verwendeten Komponenten einfach und leicht verständlich erklärt. Dies soll das Verständnis, zum Beispiel die Funktion eines Kamerasensors, fördern.

Im nächsten, *Kapitel 2*, wird speziell auf zwei Produkte verschiedener Hersteller eingegangen und diese verglichen.

Die Durchführung der verschiedenen Tests und deren Auswertung erfolgt in *Kapitel 3*. Hier werden die gewonnenen Erkenntnisse dargestellt und bewertet.

Das *Kapitel 4* zeigt, Schritt für Schritt, die angewandte Lösung.

Im Kapitel 5 wird das Ergebnis vorgestellt und bewertet. Zudem soll es einen Ausblick auf die Nutzung von Matrox geben.

1 Theoretische Grundlagen

Um einige der verwendeten Abläufe und Probleme zu verstehen, werden in diesem Kapitel Grundlagen der industriellen Bildverarbeitung kurz erläutert und bildhaft dargestellt.

1.1 Der CCD-Sensor – Die Kamera

Für die Aufnahme von Bildern benötigt man natürlich ein Aufnahmegerät. In diesem Fall ist es eine Kamera mit einem CCD-Sensor. Der Charge Coupled Device-Sensor (CCD-Sensor) ist neben dem Complementary Metal Oxide Semiconductor-Sensor (CMOS-Sensor) einer der am häufigsten verbreitete Halbleitersensor in der industriellen Bildverarbeitung¹. Die ersten CCD's wurden Anfang der siebziger Jahre, eigentlich für die Datenspeicherung, von Willard Boyle und George E. Smith entwickelt. Schnell wurde klar, dass sie auch für die Aufnahme von 2D Bilder geeignet waren. Die im Sensor befindlichen, in einer 2D Matrix angeordneten, lichtempfindlichen Fotodioden erzeugen durch den inneren fotoelektrischen Effekt Ladungsträger. Die Dauer der Lichteinwirkung wird durch die Belichtungszeit geregelt. Die erzeugte Energie wird danach nicht sofort abgegeben, sondern in sogenannten Potenzialtöpfen (wie Kondensatoren) gespeichert. Das sind Schieberegister, die zum Auslesen der Energiewerte Pixel für Pixel dienen. In einem Ladungsverstärker werden die Pixel einzeln in Spannungen gewandelt.

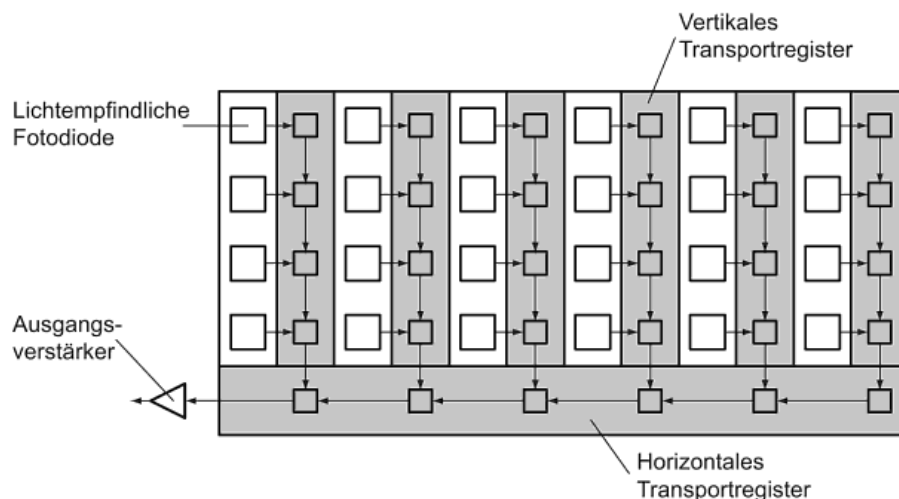


Abbildung 1: Aufbauprinzip eines CCD-Sensors (DeStSp2010, 230)

¹Demant, Christian ; Streicher-Abel, Bernd ; Springhoff, Axel: Industrielle Bildverarbeitung: Wie Optische Qualitätskontrolle Wirklich Funktioniert, 3. Aufl., Berlin ; Heidelberg, Springer-Verlag, 2010, S.228

1.2 Optische Einflüsse / Störeinflüsse

Das Hygenschke Prinzip

Das Hygenschke Prinzip beschreibt die Ausbreitung von Wellen. Demnach ist jeder Punkt einer Wellenfront, Ausgangspunkt für eine Kugelwelle, die sogenannte Elementarwelle. Im zweidimensionalen Raum wird diese auch Kreiswelle in der Ebene genannt. Die sich in alle Richtungen ausbreitenden Elementarwellen bilden durch Überlagerung neue Wellenfronten. Es entsteht konstruktive und destruktive Interferenz.

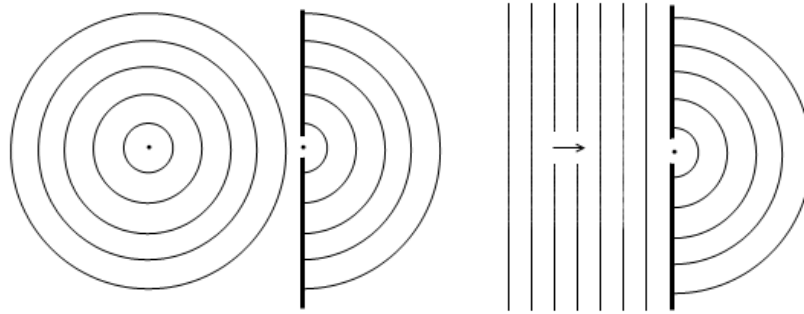


Abbildung 2: Verdeutlichung des Huygenschen Prinzips

Reflexion

Die Reflexion ist für die Bildverarbeitung ein wichtiger optischer Effekt. Wenn ein Körper beleuchtet wird, gibt die Oberfläche die Lichtstrahlen zurück. Der Sensor erfasst diese Strahlen und erstellt daraus ein Bild. Bei einer Reflexion an einer Grenzfläche ist der Winkel der einfallenden Strahlen gleich dem Winkel der ausfallenden Strahlen. Das nutzt man, um bestimmte Eigenschaften eines Prüfkörpers hervorzuheben, indem man ihn mit Licht aus verschiedenen Richtungen beleuchtet.

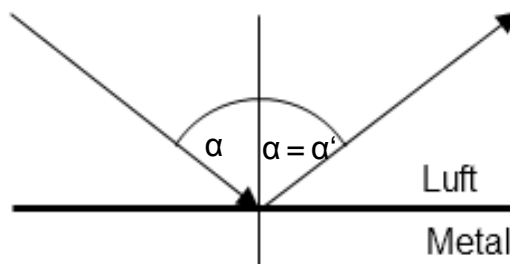


Abbildung 3: Reflexion an einer Metallfläche

Bei Materialien mit einer sehr rauen Oberfläche kann es zu einem weiteren Effekt der Optik kommen. Bei der Diffusion ist die Regel der Reflexion, Ausfallswinkel gleich Einfallswinkel, nicht gültig. Durch unterschiedliche Winkel der Materialoberfläche werden die einfallenden Lichtstrahlen diffus reflektiert, wie in Abbildung 4 anhand einer Skizze verdeutlicht.

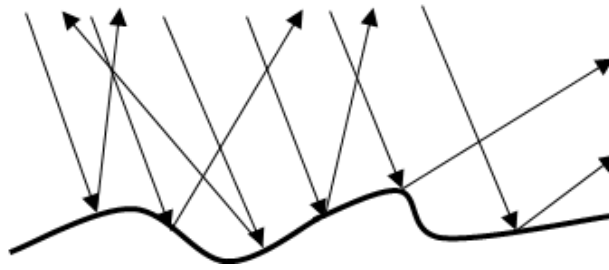


Abbildung 4: Diffuse Reflektion auf einer Oberfläche

Um eine gleichmäßige Verteilung bei nur einer Lichtquelle zu erreichen, ist die Diffusion sehr nützlich. Das beim Sensor ankommende Licht wird gleichmäßig auf der Sensorfläche verteilt.

Brechung

Die Brechung beschreibt das Verhalten beim Übergang von Lichtstrahlen in ein anderes Material. Trifft Licht auf ein Material, das teildurchlässig ist, wird dieses zu einem Teil reflektiert. Der andere Teil wird durch Brechung im Material in einem neuen Winkel weitergeleitet. Ist das Material voll durchlässig, dann wird es sogar nur gebrochen, wie es zum Beispiel bei Glas vorkommt. Abbildung 5 zeigt den ersten Fall, bei dem der Lichtstrahl auf der Oberfläche, des teildurchlässigen Materials, gleich dem Einfallswinkel reflektiert wird und zum Teil in dem Medium mit dem Winkel β weitergeleitet wird.

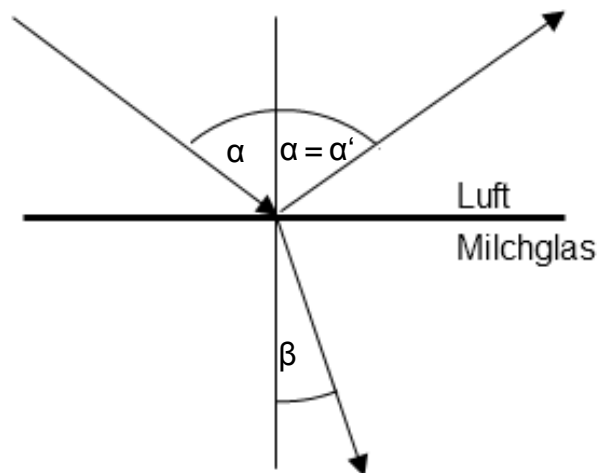


Abbildung 5: Reflexion und Brechung bei Glas

Nicht nur der Winkel des Lichtes wird im Medium geändert, auch die Geschwindigkeit ändert sich proportional dem Winkelverhältnis,

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \text{konstant}$$

was das Brechungsgesetz beschreibt.

Beugung

„Unter Beugung versteht man das Eindringen von Licht in den geometrischen Schattenraum hinter Hindernissen.“²

In Abbildung 6 ist dieser Vorgang dargestellt. Er zeigt, wie das Licht hinter dem schmalen Körper in dessen Schattenraum eindringt. Genau diesen Vorgang beschreibt das Huygen-sche Prinzip.

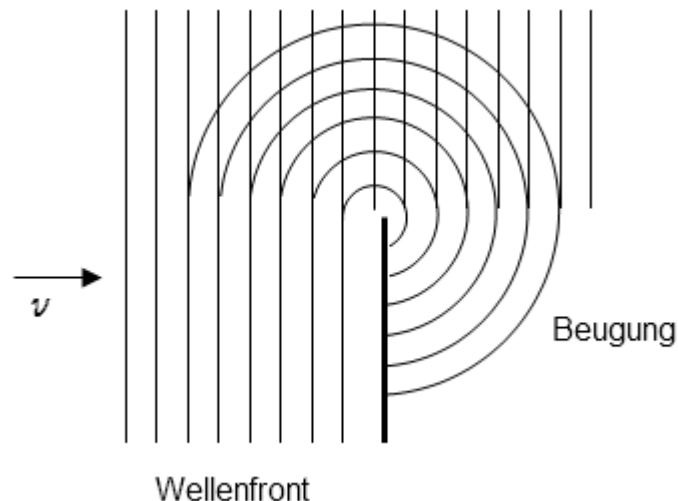


Abbildung 6: Beugung an einer Kante

Beim Auftreffen der Wellenfront auf den Körper, entstehen Elementarwellen. Aufgrund ihrer kugelförmigen, hier in der Ebene kreisförmigen, Ausbreitung ist es ihnen möglich auch in den Schattenraum des Objektes zu gelangen.

1.3 Grundlagen zur Kantendetektion

Eine Kante ist in der Bildverarbeitung laut Duden „durch zwei aneinanderstoßende Ebenen oder Flächen gebildete Linie“³.

Die Bereiche des Bildes, in denen sich die Intensität der Pixel stark ändert, werden oft als Kanten oder Übergänge von verschiedenen Strukturen wahrgenommen. In der digitalen Bildverarbeitung ist die Kantendetektion eine wichtige Methode zur Mustererkennung und –kontrolle. Damit eine Kante als diejenige von der Software wahrgenommen wird, setzt man häufig die Methode der Grenzwertbildung ein. In Abbildung 1.7a sieht man eine Auf-

² Eichler, Jürgen: Physik: Grundlagen für das Ingenieurstudium - kurz und prägnant, 3., überarb. und erg. Aufl., Wiesbaden , Vieweg, 2007, S. 221

³ Dudenredaktion, Duden, 25. Aufl., vollst. neu bearb. u. erw. Auflage, Wiesbaden , Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus, 2009.

nahme von einem Muster, das aus unterschiedlich hellen, vertikalen Streifen besteht. Wenn nun an einer beliebigen Y-Position des Bildes ein Grauwerteverlauf (auch Histogramm genannt) in der horizontalen Richtung macht, dann bekommt man einen Verlauf, wie er in Abbildung 1.7b zu sehen ist. Da die genutzte Kamera für jedes Pixel 8 Bit zur Verfügung hat, kann jeder Pixel einen von 256 Grauwerten annehmen. Das Histogramm in Abbildung 1.7b zeigt jeden einzelnen Grauwert aller Pixel, die auf der gezogenen Linie in Abbildung 1.7a liegen. Betrachtet man nun das Histogramm werden die helleren Streifen als Berge und die dunklen Streifen als Täler dargestellt. Für das menschliche Auge haben alle grauen Streifen die gleiche Helligkeit und eine scharfe Kante. Im Histogramm sieht man aber das Gegenteil. Die Kanten wechseln nicht schlagartig von schwarz auf grau, sondern haben einen mehrere Pixel breiten Übergang mit verschiedenen Grautönen, die von schwarz zu grau wandern und umgekehrt.

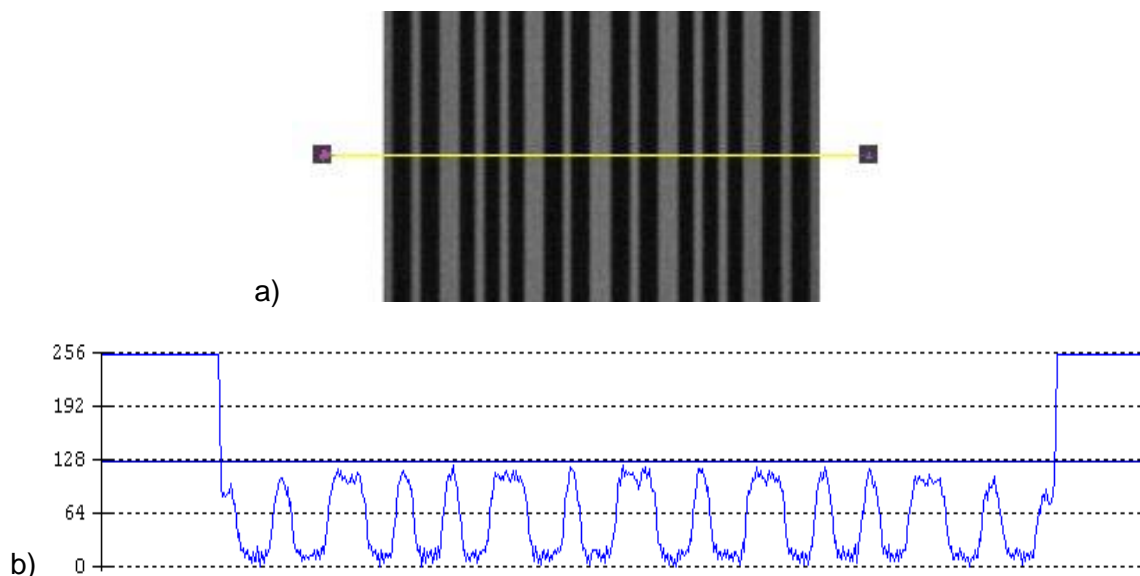


Abbildung 7: a) Zusammengesetztes Bild aus mehreren Zeilenbildern eines flexiblen Kabels von einer Zeilenkamera b) dazugehörige Grauwertfunktion

Um nun festzulegen an welcher Stelle des Anstieges und Abstieges der Berge die Kante ist, muss ein Grenzwert festgelegt werden. In Abbildung 1.8 markiert die rote Linie alle vorhandenen Kanten bei einem Grauwert von 64. Damit ist das einfache Prinzip einer Kantendetektion erklärt. In der Technik wird dieses Prinzip ähnlich umgesetzt.

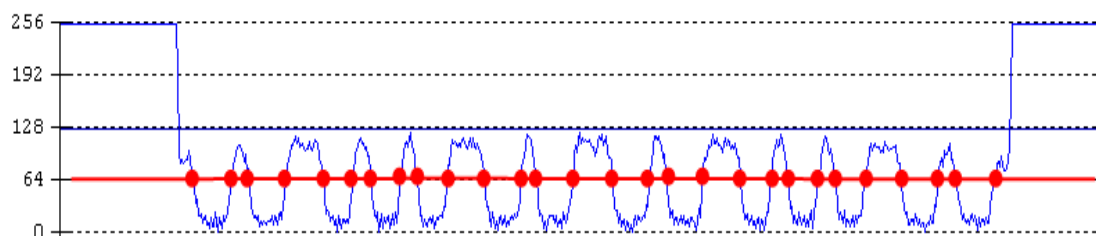


Abbildung 8: Kantenpositionen nach Schwellwertfestlegung

Eine weitere Methode für die Kantenfindung ist es, das Bild mit einem Filter zu bearbeiten. Die Filter extrahieren mit einer Operatormatrix das Bild so, dass Übergänge von Dunkel

zu Hell und umgekehrt hervorgehoben werden. Diese extrahierten Bereiche sind die Kanten und können durch eine Auswertung der Maximal- und Minimalwerte bestimmt werden. Zwei ausgewählte Filter und deren Funktionsweise, die für das extrahieren von Kanten nützlich sind, werden anschließend vorgestellt.

1.3.1 Linearfilter

Die meisten Filter zur Kantenvorbereitung sind lineare Filter. Zu den linearen Filtern gehören zum Beispiel der Tief-, Hoch- und Bandpassfilter sowie die Bandpassssperre. Sie geben das Eingangssignal nicht verzerrt und in gleicher Signalstärke weiter. Ein Linearfilter ermittelt für einen Pixel im Ergebnisbild einen Wert aus der Umgebung des Quellpixels. Anhand von Abbildung 9 kann die Funktionsweise sehr gut erklärt werden. Über den Pixel [3; 3] wird eine 3x3 Maske gelegt. Alle Nachbarn von Pixel [3; 3] sind die Umgebungspixel. Der Filteroperator, der ebenfalls die Größe 3x3 hat, gibt allen Pixeln innerhalb der Maske Gewichtung, was einfach ein Faktor ist mit dem sie multipliziert werden. Der nächste Schritt ist die Summation aller Pixel. Die Summe bildet den neuen Wert des Pixels [3; 3] im Ergebnisbild. Der Ablauf wird für alle Pixel des Eingangsbildes gemacht. Die Filterung im Randbereich ist nicht möglich, da zum Beispiel das Pixel [-1; -1] keinen Wert besitzt. Deshalb lässt man meist die Ränder im Ergebnisbild weg. Da bei einem 8x8 Filteroperator 7 Spalten und Reihen im Randbereich wegfallen, ist diese Methode nicht immer zu empfehlen. Besser ist den Randbereich mit einem mittleren Grauwert des Gesamtbildes zu füllen, die Werte vom Eingangsbild unverändert in das Ergebnisbild zu übernehmen oder kleinere Filterkerne am Rand anzuwenden.

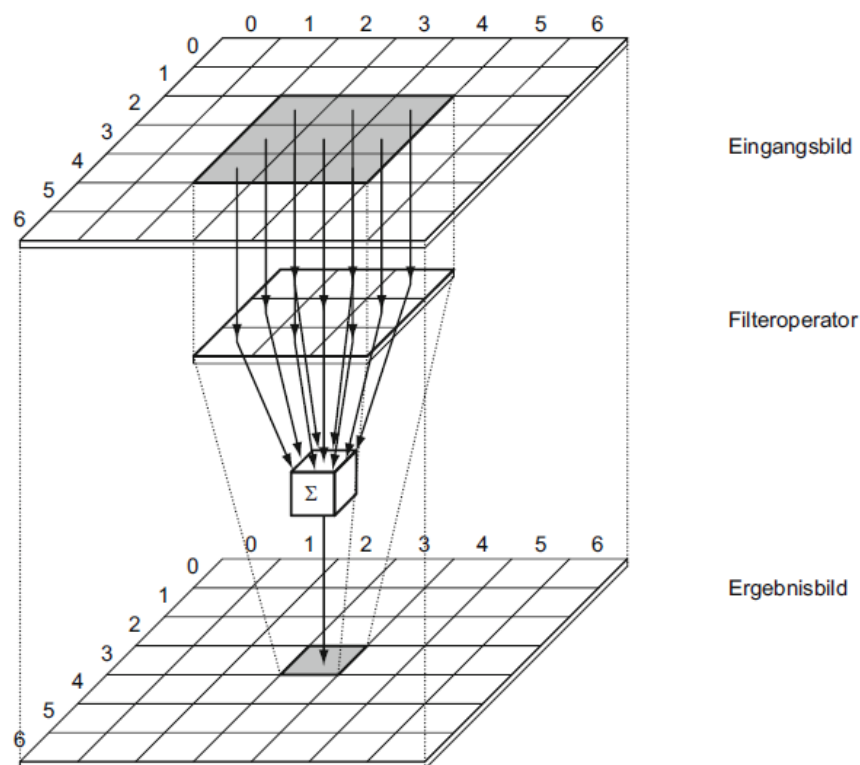


Abbildung 9: Funktionsweise eines Linearfilters (DeStSp2010, 46)

1.3.2 Sobel-Operator

Der Sobel-Operator ist ein Hochpassfilter. Hochpassfilter heben feine Strukturen hervor und das Bild erscheint ‚härter‘. Das kommt daher, weil Kanten gestärkt beziehungsweise extrahiert werden. Bei der Anwendung auf große homogene Flächen, kann dieser Filter dazu führen, dass die Fläche gestückelt wird und selbst kleinste Unterschiede, die vorher nicht stark sichtbar waren, durch die Hervorhebung dem Betrachter nun sichtbar sind. Den Operator gibt es in vier Varianten, die Kanten in unterschiedlichen Ausrichtungen hervorheben.

horizontaler Operator vertikaler Operator

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

diagonale Operatoren

$$S_d = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad S_d = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Die Wirkung des Sobel-Filters ist in Abbildung 10 zu sehen. Hierbei handelt es sich um ein mit dem Matrox Inspector 9.0 gefiltertes Bild. Der hier verwendete Sobel-Filter wird in der horizontalen und die vertikalen Ausrichtung angewandt. Die Formel

$$Gradient = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

zeigt, dass das Ergebnis aus der Wurzel beider Matrizen zum Quadrat berechnet wird.



Abbildung 10: Bild nach angewandtem Sobel-Filter

1.3.3 Prewitt-Operator

Der Prewitt-Filter ist ebenfalls ein Kantendetektionsfilter. Er ist dem Sobel-Filter ähnlich, unterscheidet sich jedoch in der fehlenden Gewichtung der Pixel. Er gleicht einem Tiefpassfilter der Störungen im Bild durch eine zusätzliche Mittelwertbildung glättet.

$$\begin{array}{ll} \text{horizontaler Operator} & \text{vertikaler Operator} \\ P_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & P_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

Der Filter erkennt die Kanten anhand der größten Änderung der zwischen den Pixelwerten und achtet dabei nicht auf die Gradienten. Ein Gradient ist ähnlich einem Vektor der die Richtung zur steilsten Änderung einer Funktion zeigt und mit seiner Länge ein Maß für die Steigung ist. Somit unterscheidet der Prewitt-Operator nicht zwischen den Übergängen zwischen Schwarz und Weiß oder Weiß und Schwarz.

In der Matrox Imaging Library kommt der Filter wie folgt zum Einsatz.

$$\frac{\left(\left\| \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \right\| + \left\| \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right\| \right)}{2}$$

Abbildung 11 zeigt das Resultat, nachdem ein Prewitt-Filter angewandt wurde. Nun ist das Resultat zu sehen und im Vergleich mit dem Ergebnis des Sobel-Filters ist zu erkennen, dass der Prewitt-Filter die Kanten schwächer hervorhebt.



Abbildung 11: Bild nach angewandtem Prewitt-Filter

2 Hardware und Technik

Die für die Versuche notwendige Hardware und die genutzte Technik wird in diesem Kapitel vorgestellt. Zu Beginn werden die zwei vorliegenden Kabeltypen vorgestellt. Anschließend wird der Versuchstand erklärt und die dazu benötigte Hardware gezeigt. Zum Schluss dieses Kapitels werden zwei am Markt verfügbare Kamerasysteme vorgestellt.

2.1 Aktuelle Situation bei Flachbandkabelhersteller

Bei einem Besuch der Produktionshallen beim Flachbandkabelhersteller konnte ein Eindruck von den vorherrschenden Bedingungen der Flachbandkabelkontrolle gewonnen werden. Dabei waren viele Erkenntnisse zum Aufbau wichtig, um später im Labor die Testbedingungen nachbilden zu können. Wichtig dabei waren die Abstände der einzelnen Komponenten zueinander. Außerdem wurde auf Fremdlichteinflüsse durch die Deckenbeleuchtung und einstrahlendes Licht von außen geachtet, da dieses oft störend wirkt. Die Prüfanlage ist in Anlage 1 zu sehen.

Flexible-Flat-Cables

Bei der ersten Installation der Kamerakontrolle 2010 war geplant, dass zwei unterschiedliche Kabeltypen geprüft werden sollen. Die Umstellung auf den anderen Kabeltyp sollte durch wenige Einstellungen in der Bedienoberfläche erfolgen. Jedoch hat sich herausgestellt, dass es nur möglich ist mit einem Typ die Kontrolle zu erledigen. Der Grund wird in einem späteren Kapitel ersichtlich.

Für die Versuche im Labor waren ausreichend lange Stücke beider Typen vorhanden. Im Folgenden sind beide Kabelmuster zu sehen. Die hier genutzten Namen der Kabeltypen entsprechen aber nicht den herstellerinternen Bezeichnungen, sondern wurden nur zur besseren Unterscheidung so vom Autor vergeben. Abbildung 12 zeigt den Kabeltyp A. Dieser wird in dieser Arbeit kaum berücksichtigt, soll aber der Vollständigkeit halber gezeigt werden.



Abbildung 12: Kabeltyp A

Kabeltyp B besteht aus vier Kabeln mit jeweils 14 Kupferadern, die in Abbildung 13 als schwarze Streifen zu sehen sind. Das Laminat (hier grün) Für die Versuche wird nur ein

Typ verwendet. Dieser besteht aus vier nebeneinander verlaufenden Kabeln, die 2,4 cm breit sind und jeweils 14 Kupferadern haben.

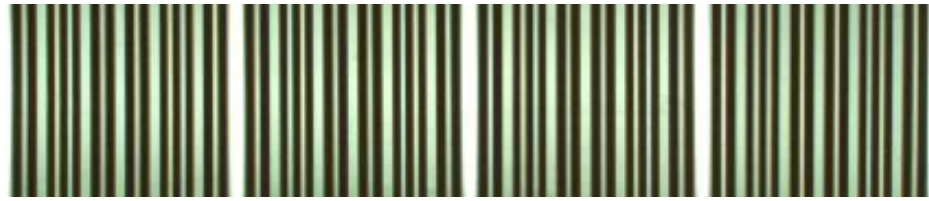


Abbildung 13: Kabeltyp B

2.2 Der Versuchsstand

Für die Versuche wurde ein Versuchsstand (Anlage 2) benötigt, der die Kamera in alle Richtungen bewegen konnte und eine Befestigungsmöglichkeit für das Zeilenlicht hat. Dafür wurde aus MayTec Profilen ein Tisch mit einem in der Höhe verstellbaren Arm montiert. MayTec ist ein Hersteller für Aluminium-Profilschienen in unterschiedlichen Formen. Die Beleuchtung ist fest und soll ihre Position nicht verändern. Als Auflage für die Testkabel dient eine durchsichtige 4 mm starke Platte aus Plexiglas. Später war noch ein weiterer Umbau nötig, da, wie in Kapitel 3 zu lesen, der Einsatz eines Milchglases von Nöten war. Zudem wurde in das Plexiglas, was nun auf dem Milchglas lag, ein Ausschnitt gemacht, um eventuelle Störungen durch Brechungen im Glas auszuschließen. Damit sollte ein Abstand, zwischen Messobjekt und Beleuchtung erreicht werden. Dieser Versuchstisch ermöglicht eine genaue Ausrichtung der einzelnen Komponenten zueinander um für jede Aufnahme die gleichen Bedingungen zu gewährleisten.

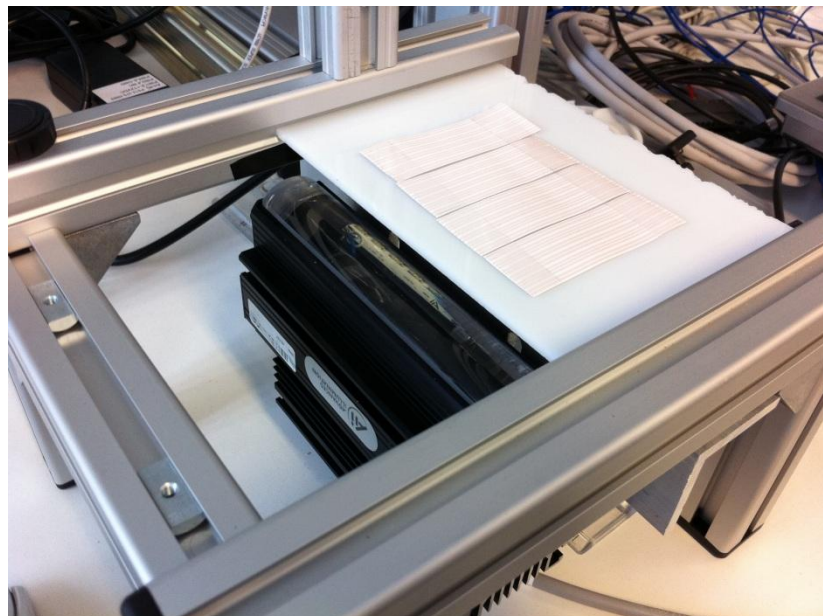


Abbildung 14: Zeilenbeleuchtung mit Milchglas und Messobjekt

Die Beleuchtung

Die Beleuchtung spielt in der industriellen Bildverarbeitung die wichtigste Rolle. Denn nur mit der richtigen Beleuchtung wird eine Messaufgabe erfolgreich. Dafür gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Bauformen, zum Beispiel

- Linien-,
- Ring-,
- Flächen-,
- oder Spotlicht.

Zudem ist für jede Anwendung noch die Beleuchtungsart zu wählen. Hier wird unterschieden in

- Auflicht-,
- Durchlicht-,
- oder Dunkelfeldbeleuchtung.

Die am häufigsten verbreiteten Beleuchtungen sind mittlerweile mit LED- Technik ausgestattet. Diese haben nicht nur eine gute Leuchtstärke sondern sind auch noch energiesparender und sehr kompakt. Bei Beleuchtungen spielt auch die Qualität der Verarbeitung eine wichtige Rolle. Wenn zum Beispiel ein LED –Linienlicht nicht eine gleichmäßige, homogene Abstrahlung vorweist, kann dies zu Messfehlern führen. Deshalb unbedingt die Lichtverteilung der Lichter testen und kontrollieren.

Für den hier verwendeten Testaufbau wird ein Linienlicht von Ai (Advanced Illumination) mit einer Breite von 150 Millimetern und einem weißen Licht, das von mehreren Leistungs-LED's erzeugt wird. Dieses wird mit einer speziell geformten Linse fokussiert und ist damit für Zeilenkameras sehr geeignet.

2.3 Vorstellung OMRON und Matrox

2.3.1 OMRON

OMRON ist ein weltweit führendes japanisches Unternehmen was in den Geschäftsfeldern Industrieautomation, Fertigung von Elektronikkomponenten und Gesundheitswesen unterwegs ist.

Das Bildverarbeitungssystem von OMRON besteht aus folgender Hardware: ein Controller mit Touch-Bedienfeld, einer Kamera und einem Kamerakabel. Im Folgenden wird ein Controller FZ3-700-10 zusammen mit einer Kamera FZ-SC5M2 und einem 16 mm Objektiv für Testaufnahmen verwendet. Kamera und Controller kommen aus dem Hause OMRON. Das Objektiv ist von Pentax und durch ein Standardgewinde montierbar.

Auflösung	2448(H)×2044(V) - 5 Megapixel
Pixelgröße Sensor	3.45×3.45 µm
Maximale Zeilenrate	16 fps(62.5 ms)
Farbe / Monochrom	Farbe

Tabelle 1: OMRON FZ-SC5M2 Merkmale

Die Bedienoberfläche des OMRON Controllers ist sehr übersichtlich und leicht bedienbar (Abbildung 15). Zentral ist das aufgenommene Bild dargestellt, was auch noch in eine Art Vollbildmodus gewechselt werden kann. Am rechten Rand sind diverse Anzeigen. Unter anderem sind Einstellungen zur Messung möglich. Es kann auch ein gespeichertes Bild geladen werden, um dieses erneut zu messen. Der Flow entspricht dem Ablaufplan einer Messung. Hier sind die Units angeordnet, die Messfunktionen ausführen, wie in dem Bild der „Color Gray Filter“, der das Bild in ein Schwarz-Weiß-Bild umwandelt. Durch einen Klick auf eine Unit, wird im Detail Result die dazugehörigen Daten angezeigt. Hier stehen auch Messergebnisse oder, wie im Beispiel, die Kameranummer.

Im oberen Bildbereich werden das Gesamtmessergebnis, die Ausführungszeit und der Modus dargestellt. Weiterhin gibt es weitere Systemeinstellungen und die Auswahl von Szenen. Diese sind die Programme, die man abspeichern und wieder aufrufen kann. Im hier zu sehenden ADJUSTmode kann alles geändert werden. Wird in den RUNmode gewechselt, ändert sich die Oberfläche und verringert die Anzeigen auf ein Minimum.

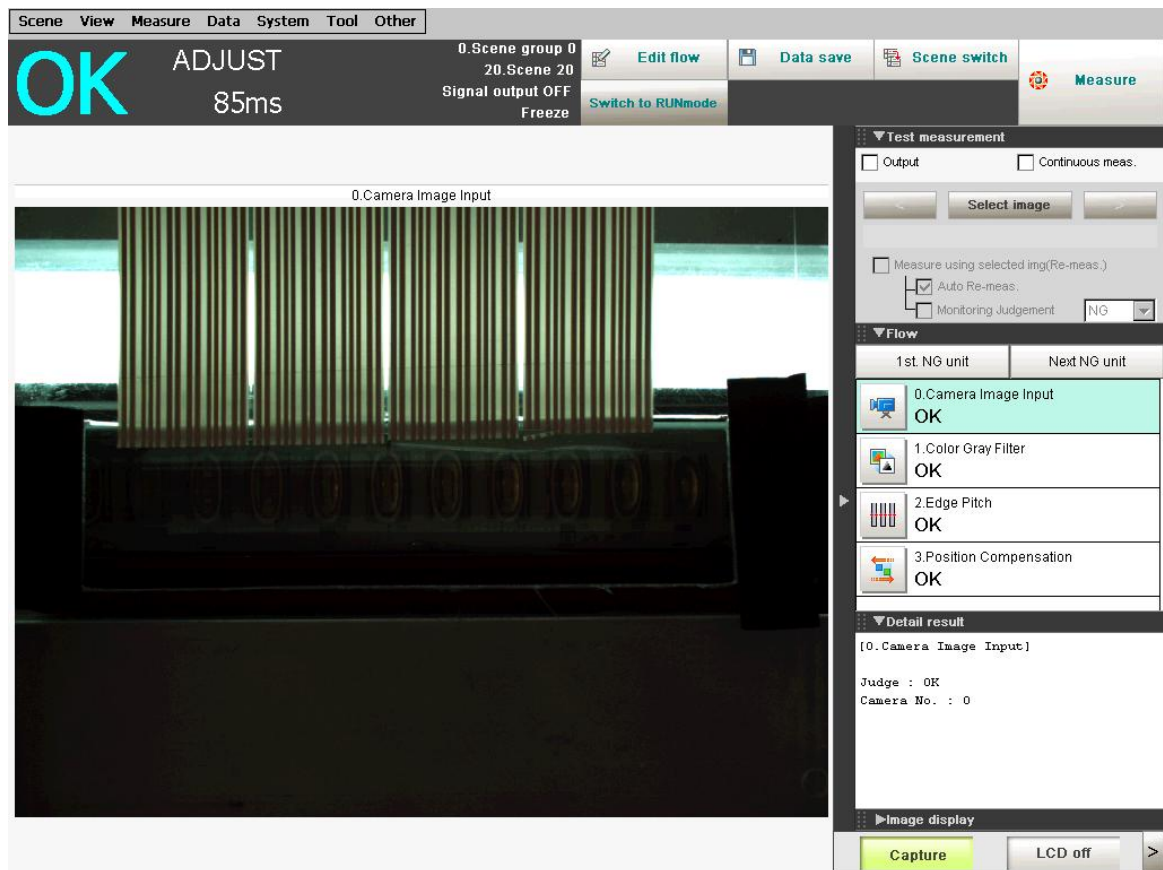


Abbildung 15: OMRON Oberfläche

2.3.2 Matrox

Matrox ist ein weltweites Unternehmen, mit Sitz in Montreal, Kanada, das komponentenbasierte Lösungen für Systemintegratoren in der Fertigung und für die Medizindiagnostik anbietet.

Das zur Verfügung stehende System besteht aus einer Kamera der Firma e2v, einem Matrox Framegrabber und der Matrox Imaging Library (MIL). Die technischen Merkmale der Kamera sind in Tabelle 2 aufgelistet. Das Objektiv von Carl Zeiss hat eine Brennweite von 50 mm. Ein Framegrabber ist eine Steckkarte für die PCI Schnittstelle der die analogen Signale in digitale Signale wandelt und auch vorverarbeiten kann.

Auflösung	4096 Pixel
Pixelgröße	10x10 μm
Maximale Zeilenrate	15 KHz
Datenrate	20 - 62 MHz
Leistungsaufnahme	9 W
Gain	-18 - 21 dB
Bildverarbeitung	8 Bit, 10 Bit, 12 Bit

Tabelle 2: e2v AViiVA UM2 GE 4010 Merkmale

2.3.3 Auswahl

Für den weiteren Ablauf wird die Hardware der Firma Matrox genutzt. Die Entscheidung ist damit zu begründen, dass die Auflösung deutlich höher ist und somit genauere Längenmessungen durchgeführt werden. Die Zeilenrate ist ausreichend für eine Geschwindigkeit des zu kontrollierenden Kabels von 2 m/s, wie es in der Produktion der Fall ist.

3 Versuchsdurchführung

Die folgenden Abschnitte beschreiben die unternommenen Schritte und Versuche zur Findung der Störeinflüsse und die genutzten Möglichkeiten zur Störbeseitigung.

3.1 Vorhandene Software

Um einen genauen Überblick zu der Problemstellung zu bekommen, gilt es auch die Software anzusehen. Dazu zählt das Programm zur Kontrolle der Flachbandkabel, welches beim Produktionsbetrieb eingesetzt wird. Die Oberfläche ist in Abbildung 16 zu sehen. Unterhalb der Menüleiste wird das letzte aufgenommene Bild dargestellt. Darunter sind die dazugehörigen Ergebnisse der Messung zu sehen. Davon sind die linken Ergebnisse, die für die gefundenen Kabel. Es zeigt die gefundenen Adern jedes Kabels an und Abstände zu Referenzpunkten. Die rechte Hälfte beinhaltet die Messwerte der einzelnen Adern mit den Abständen, auch jeweils wieder zu Referenzpunkten, die vorher festgelegt werden.

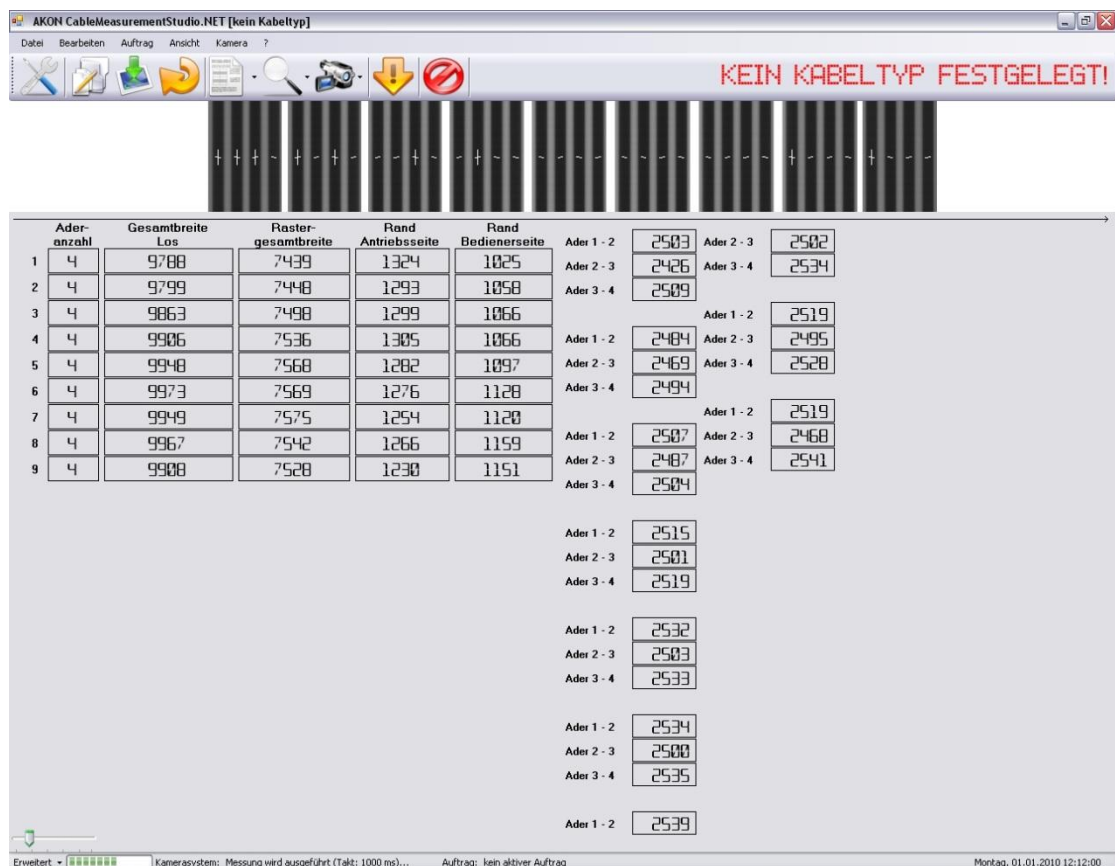


Abbildung 16: Programm bei Hersteller

3.2 Analyse

Somit sind der Versuchsstand und der Aufbau der zu untersuchenden Kabel erklärt. Nun kann mit den Versuchen begonnen werden.

Zuerst wird das Kamerasystem von OMRON aufgebaut und eingerichtet. Eine einfache Szene, das ist eine Art Ablauf, der die Reihenfolge der vorzunehmenden Prozesse beschreibt, besteht aus dem Einlesen des Kamerabildes (0. Camera Image Input) und einem Kantensucher (1. Edge Pitch). Die Oberfläche wird in Abbildung 15 dargestellt. Auf der rechten Seite im Bereich „Edit Flow“ ist der Inhalt der Szene zu finden. Das Camera Image Input zeigt dem Benutzer das Kamerabild an. In dieser Funktion können weitere Parameter, wie Verstärkung und Verschlusszeit eingestellt werden. Der Kantenfinder sucht in einer gewünschten Region des Bildes nach allen Kanten. Er sucht dabei nach Veränderungen der Farbwertkurve und gleicht diese mit den einstellbaren Konstanten ab, die der Nutzer definieren kann. Das OMRON-System hat eine Farbkamera und arbeitet deshalb in den drei Kanälen Rot, Grün und Blau (RGB). Durch einen vor die Funktion eingefügten Grauwertfilter wird das Kamerabild durch Grauwerte dargestellt und der Kantenfinder arbeitet nur noch in einem Kanal.

3.3 Testinspektionen mit Inspector 9.0

Der Inspector 9.0 ist eine von Matrox mitgelieferte Software zur Voranalyse von Bilddateien. Mit ihm ist es möglich die Funktionen der MIL vorab zu testen und ihre Ergebnisse zu bewerten. Für Machbarkeitstest ist dies sehr wichtig, da somit sichergestellt werden kann, dass eine Problemstellung lösbar ist. Die Oberfläche ist in Abbildung 17 zu sehen. In den oberen Menüleisten sind die verschiedenen Funktionen auswählbar. Diese öffnen sich in einem neuen Fenster innerhalb der Inspector-Oberfläche. Dabei kann bei vielen geöffneten Bildern und Funktionen schnell der Überblick verloren gehen. Neben den Funktionen ist es auch möglich ein Testprogramm zu erstellen. Besonders geeignet ist dies für die Anwendung von einer Messungseinstellung auf mehrere Bilder. Da auch direkt von einer Kamera Bilder in den Inspector geladen werden können, kann so geprüft werden, ob die Messungseinstellungen eine gute Reproduzierbarkeit haben und wie sie sich auf ändernde Messungsbedingungen und Messbilder verhalten.

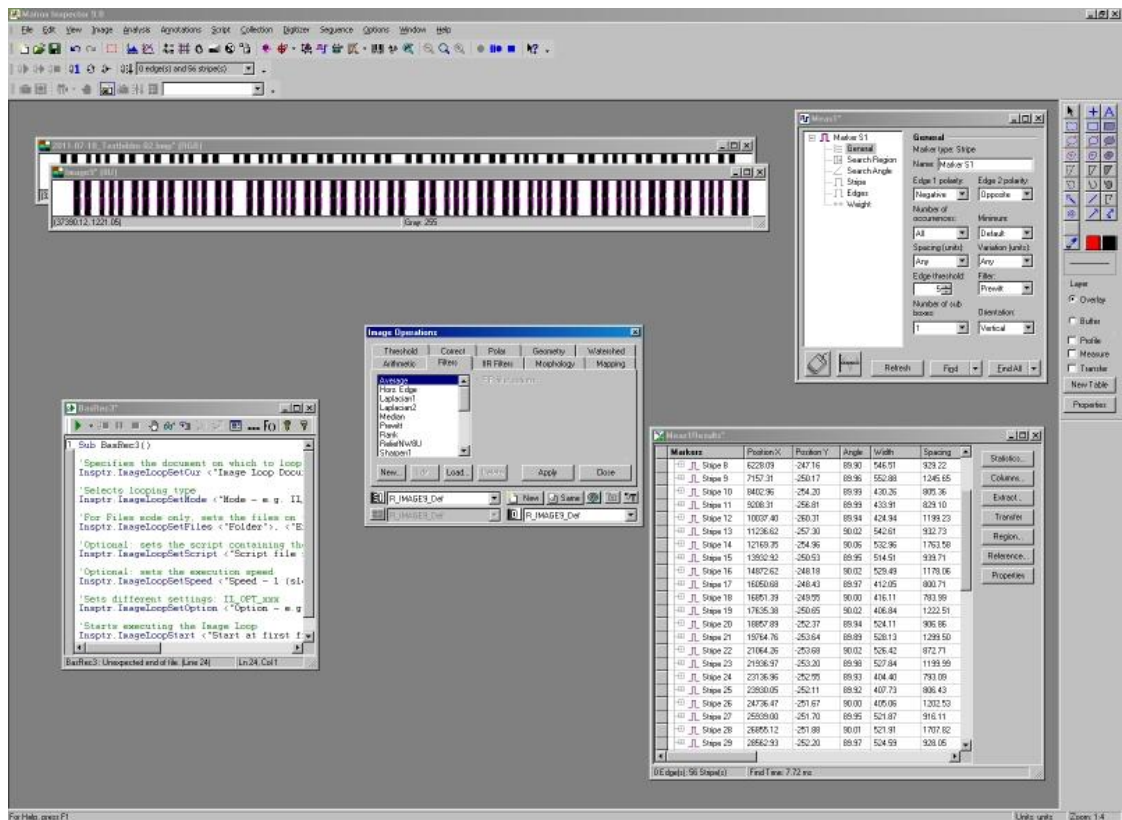


Abbildung 17: Oberfläche Inspector 9.0 mit geöffneten Messfunktionen und Testcode

Mit dem Matrox Inspector 9.0 werden die nachfolgenden Versuche unternommen. Um eine genaue Nachvollziehbarkeit der sich verändernden Ergebnisse zu bekommen, werden vor jeder erneuten Messungsbildaufnahme, beziehungsweise der Messung eines bereits aufgenommenen Bildes, nur ein bis zwei Parameter/Einstellungen geändert. Zu Anfang wird die Beleuchtung näher betrachtet. Es werden verschiedene Beleuchtungsmittel verglichen und ihre Nutzbarkeit bewertet. Durch Änderungen der Anbringung und Strahlwinkel zum Objekt wird versucht, Verbesserungen zu erreichen. Wenn dadurch noch kein optimales Ergebnis erzielt werden konnte, wird die Kamera genauer untersucht. Hier können durch Änderung der Verschlusszeiten gegebenenfalls Verbesserungen entstehen. Zum Schluss wird versucht mit der Software weitere Messungsabweichungen zu minimieren.

Beleuchtung

Im Punkt 2.2 wurde bereits ein Einblick auf die variantenreichen Möglichkeiten für Beleuchtungen erklärt. Von diesen Bauformen lagen für die Versuche eine Flächenbeleuchtung, einen Handleuchtstab mit einer Kaltlichtkathode und ein LED-Linienlicht vor. Für die ersten beiden Beleuchtungen wurde auf Zeilenkamerabilder verzichtet, um die Wirkung des Lichtes auf deren gesamte Fläche darzulegen.

Flächenlicht

Das von der Firma BALLUFF hergestellte Flächenlicht ist für den Einsatz als Durchlichtbeleuchtung geeignet. Mit seiner Größe von (100 x 100) mm ist es möglich auch größere Bauteile zu kontrollieren. Die roten LEDs beleuchten die gesamte Fläche mit hoher Lichtstärke und für das menschliche Auge homogen. Mit der Breite ist es für die Versuche nur gering geeignet, denn die Kabeltypen haben eine Breite von circa 100 Millimeter und als Vorgabe vom Kunden gilt eine Arbeitsbreite von 120 Millimetern, soll aber vorerst für die Vergleichstest reichen. **Abbildung 19** zeigt ein, mit einer OMRON Kamera aufgenommenes, Bild der Beleuchtung mit aufliegendem Kabeln. Im Bild ist das Histogramm zu erkennen, welches zeigt, wie die Helligkeit zum Rand der Beleuchtung nachlässt. Das ist somit gleich dem Grundproblem dieser Aufgabenstellung. Vorerst ist also zu prüfen, welche Komponente diesen Helligkeitsabfall verursacht. Dazu wurde ein Helligkeitsverlauf über die gesamte Breite des Flächenlichtes erstellt und dabei sieht man, dass der Verlauf der roten Farbanteile sehr steile Flanken hat und nicht zum Rand abdunkelt. Das ist aber nur eine Täuschung. Man kann gut erkennen, dass dieser Verlauf wie ein Plateau aussieht. Das liegt an der Überbelichtung, die aus einer zu weit geöffneten Blende oder einer langen Belichtungszeit resultiert. Die Pixel des CCD Sensors erreichen den maximal möglichen Wert, den sie aufnehmen können, durch die starke Einstrahlung von roten Lichtanteilen (Wellenlängen) auf den Sensor. Um nun zu sehen, wie die Abstrahlungsverteilung des Flächenlichtes ist, wird die Blende soweit es geht geschlossen und wenn nötig die Belichtungszeit minimiert. Das Ergebnis ist in **Abbildung 20 a)** und **b)** zu sehen.

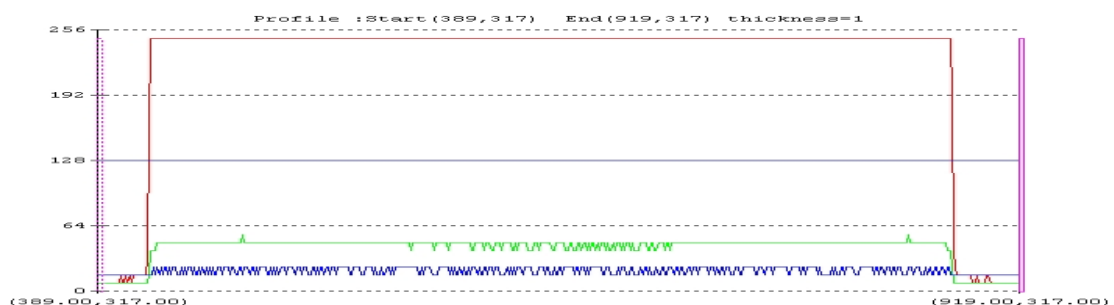


Abbildung 18: Helligkeitsverlauf des Flächenlichtes

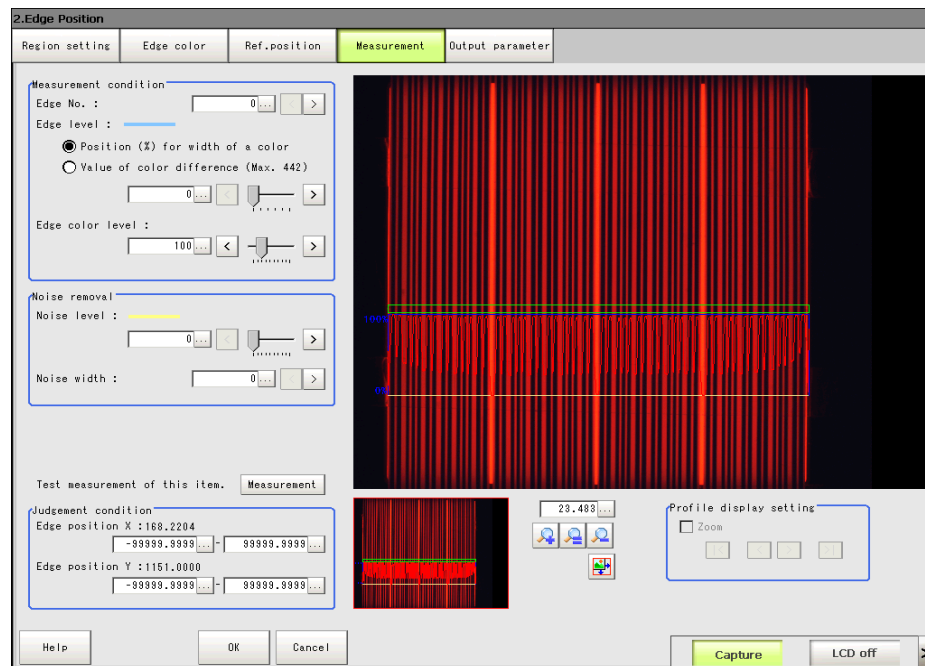


Abbildung 19: Aufnahme von 4 Kabeln auf Flächenlicht

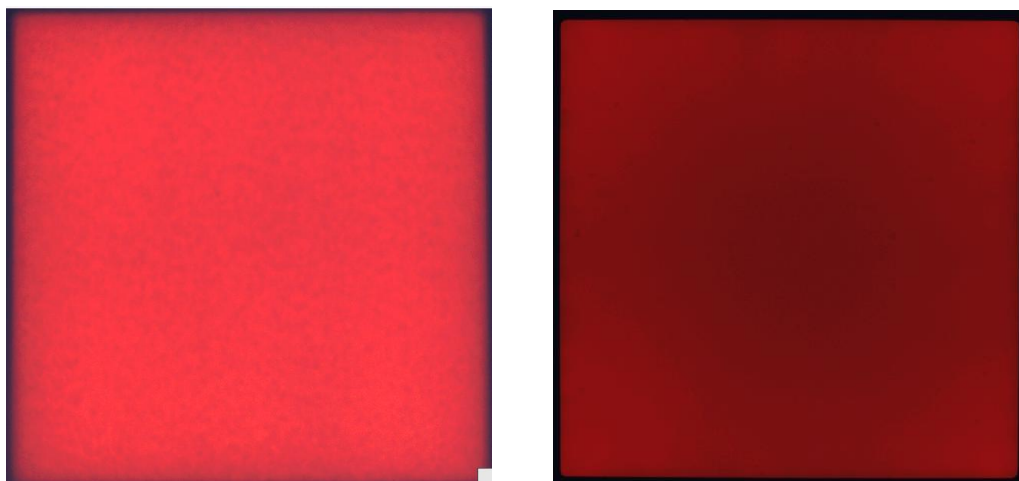


Abbildung 20: a) Leuchtverteilung d. Flächenlichtes bei gering geschlossener Blende b) Leuchtverteilung d. Flächenlichtes bei weit geschlossener Blende

Jetzt ist mit bloßem Auge zu erkennen, dass die Verteilung ungleichmäßig ist und an den Randbereichen schwächer wird. Ansatzweise ist auch zu erkennen, dass anscheinend nur vier LEDs, jeweils eine pro Ecke, die Fläche mit dem nötigen Licht bestrahlen. All diese Erkenntnisse und vor allem das Problem der geringen Breite, machen das Flächenlicht für die weiteren Versuche ungeeignet.

Handleuchtstab

Der Grund für die Aufnahme des Handleuchtstabes in diese Betrachtung liegt darin, dass in ähnlichen Stationen beim Hersteller des Flachbandkabels diese in Form von Kaltlichtkathoden eingesetzt werden. Für die Versuche wurde ein handelsübliches Licht aus der hauseigenen Werkstatt benutzt. Da dieses eine Frequenz von 50 Hertz hat muss bei den Kameraeinstellungen darauf geachtet werden, dass die Belichtungszeit maximal die Hälfte beträgt, was einer Zeit von 100 Millisekunden entspricht. Zum Vergleich der verschiedenen Belichtungszeiten können die nachfolgenden Darstellungen betrachtet werden.

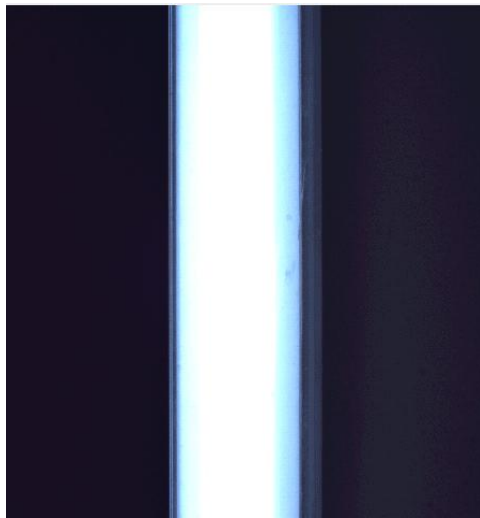


Abbildung 21: Belichtungszeit 1/100 ms

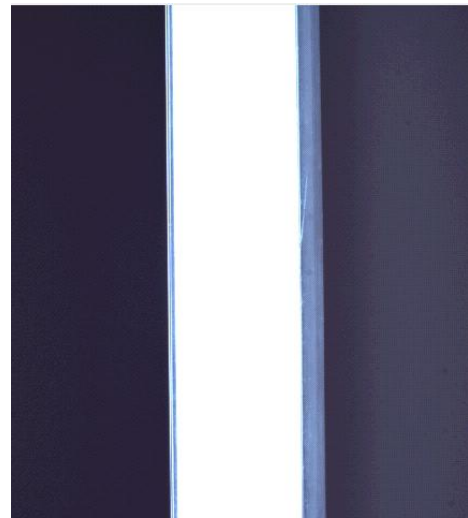


Abbildung 22: Belichtungszeit 1/40 ms

Bei einer Erhöhung der Abtastrate der Kamera werden die Pixel des Sensors länger mit Licht bestrahlt. Dadurch erhöht sich die gesammelte Ladung jedes Pixels bis die Kapazität erreicht ist. Es tritt eine Überblendung ein, wie sie in beiden Bildern zu sehen ist. Dabei ist zu sehen, dass bei geringerer Zeit der Streifen schmaler ist. Die Breite des Streifens ist für eine Zeilenkameraanwendung ausreichend, da es sich hier nur um einen sehr kleinen Bereich handelt, in dem die Zeile aufgenommen wird. Deshalb ist die Kaltlichtkathode eine Alternative zum nächsten Beleuchtungsmittel, dem LED-Linienlicht.

LED-Linienlicht

Das Linienlicht von der Firma ADVANCED ILLUMINATION wird vom Vertrieb als ein optimales Beleuchtungsmittel für den Einsatz mit Zeilenkameras angepriesen. Es besteht aus 12 in einer Linie angeordneten Hochleistungs-LEDs die in einer Entfernung von fünf Zentimetern das weiße Licht mit einer Fokussierlinse bündeln. Für den Betrieb benötigt die Beleuchtung dabei circa 1,1 Ampere bei 24 Volt. Da dieses Licht speziell für diese Arbeit beschafft wurde, werden die Versuche hauptsächlich damit ausgeführt und zur Aufnahme wird ab jetzt die Zeilenkamera genutzt.

Eine erste Aufnahme zeigt die Beleuchtung in Abbildung 23. Für das Verständnis muss erwähnt werden, dass jedes der Zeilenkamerabilder aus jeweils nur einer Zeile besteht. Diese Zeile wird alle 130 μs aufgenommen und zu einem 2D Bild aus 512 dieser Zeilen zusammengesetzt. Der Wert der zu sammelnden Zeilen ist variabel einstellbar. Dies soll der besseren Darstellung dienen, da ein 4098 x 1 Pixel großes Bild schwer zu erkennen ist.

Auf einem dieser 2D Bilder sind die einzelnen LEDs des Linienlichtes zu erkennen. So wie es hier zu sehen ist, nützt es der Messaufgabe nicht. Das Licht der LEDs wird direkt abgegeben und nicht gestreut. Durch Öffnung der Blende kann zwar eine gleichmäßige, aber überbelichtete Zeile erreicht werden, ist aber nicht gewünscht. Um die Überblendung zu vermeiden, wurde mit streuenden Materialien gearbeitet.



Abbildung 23: Aufnahme Zeilenkamera ohne Filter

Zu den streuenden Materialien gehört zum Beispiel Milchglas. Dieses teildiffuse Glas bricht die Lichtstrahlen und streut diese in alle Richtungen. Dadurch kann eine homogene Leuchtfäche erzeugt werden.



Abbildung 24: Linienlicht mit Diffusor von Ringlicht

Um die Wirkung eines Diffusors (Milchglasvorsatz) zu erproben, wurde ein solcher von einem Ringlicht genutzt. Dieser kann je nach Bedarf aufgeschraubt werden. Die deutliche Verbesserung durch das Milchglas ist in Abbildung 24 zu sehen. Weil der Diffusor nur ein Ring mit einer geringen Breite ist, konnte nicht das ganze LED Linienlicht abgedeckt werden. Deshalb ist in der Abbildung nur die Mitte gleichmäßiger. Für den weiteren Verlauf der Versuche wird ein Milchglas eingesetzt. Milchgläser gibt es in verschiedenen Ausführungen, die in sich in der Stärke und Lichtdurchlässigkeit unterscheiden. Für diese Anwendung hat es sich erwiesen, dass ein Milchglas mit einer Stärke von fünf Millimetern und einer Lichtdurchlässigkeit von circa 45 Prozent bestens geeignet ist.

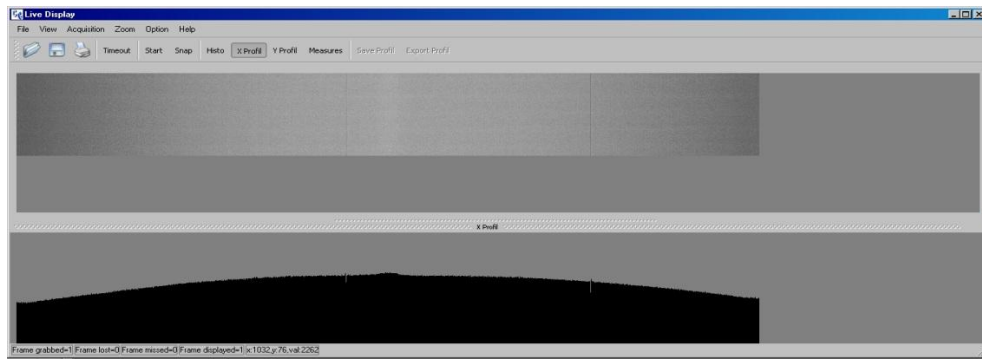


Abbildung 25: Linienlicht mit Milchglas

Mit dem Einsatz des Milchglases erkennt man den, beim Hersteller, typischen Helligkeitsverlauf, in Abbildung 25. Das Milchglas kann als Ursache für diesen Abfall ausgeschlossen werden, da es die Lichtintensität auf der gesamten Fläche verringert, nicht aber einer Parabel ähnlich zu den äußeren Rändern.

Der Grund für diesen Randlichtabfall ist bekannt und es ist bei Linienlichtern, laut Hersteller, üblich, dass zu den Enden die Lichtintensität abfällt. Das ist deshalb so, weil in der Mitte sich noch viele LEDs überlagern. LEDs haben meistens einen sogenannten Abstrahlwinkel von 120 Grad. Wenn nun mehrere nebeneinander positioniert sind, überlagern sich deren abgegebenen Lichtstrahlen. Das ändert sich mit der Distanz zu den Enden eines Linienlichtes. Das jeweils äußerste LED Element wird nur noch von einer Seite überlagert, die summierte Leuchtkraft verringert sich.

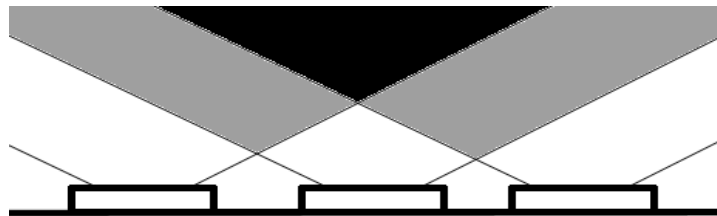


Abbildung 26: Darstellung Überlagerung der Abstrahlwinkel von LEDs

Eine Methode zur Verringerung des Randlichtabfalles wäre, ein deutlich breiteres Linienlicht zu installieren. So würden die geforderten 120 Millimeter Sichtfeld in dem Bereich des Lichtes liegen, in dem sich so viele wie mögliche LEDs überlagern und eine annähernd gleiche Helligkeit ergibt. Diese Möglichkeit soll vorerst außer Betracht gelassen werden, da bauseitig auf den Platzbedarf geachtet werden muss.

Kamera und Objektiv

Die Beleuchtung ist soweit es geht optimiert worden. Nun ist es wichtig, den Randabfall des Linienlichtes auszugleichen. Viele Versuche mit der Änderung des Abstandes der Kamera zum Objekt, sowie verschiedene Blendenöffnungen und andere hier nicht weiter genannte Versuche brachten keine beträchtlichen Verbesserungen. Negativ hinzukommt, dass es auch bei Objektiven eine Art Randlichtabfall gibt. Die Vignettierung wird durch mehrere Öffnungen des Objektivs erzeugt, wie zum Beispiel der Gehäuserand oder Lin-

senfassungen. Diese verringern den Bereich des maximal möglichen Strahlengangs und bewirken, dass Schatten die Randbereiche füllt. Das Abblenden des Objektivs hilft in einigen Fällen. Hinzu kommt noch der physikalische Randabfall, der beschreibt, dass der Helligkeitsabfall proportional zur 4. Potenz des Bildwinkels ist. Das Abblenden hilft bei dieser Anwendung nicht, da sonst nicht die 120 Millimeter Blickbereich eingehalten werden. Jedoch gibt es auch noch andere Methoden zur Beseitigung des Randlichtabfalls. Nach einiger Recherche und einer Nachfrage beim Vertrieb der Hardware stellte sich heraus, dass die Kamera intern eine Möglichkeit hat, diesen Randabfall auszugleichen. Weil dieser ein bekanntes Problem in der Bildverarbeitung ist, ob Privatfotografie oder industrielle Bildverarbeitung, haben viele Industriekameras und auch Bildverarbeitungsprogramme Methoden integriert, um den Abfall wettzumachen. Bei der hier verwendeten Zeilenkamera nennt sich diese Funktion Flat Field Correction (Weißbildabgleich). Wie schon erläutert, sammeln die Pixel eines Sensors Ladungen. Das geschieht auch bei Dunkelheit und nicht jeder Pixel hat dabei die gleiche Ladung gesammelt. Um sicherzustellen, dass also jeder Pixel bei absoluter Dunkelheit auch den gleichen Grauwert liefert, wird zuerst ein Schwarzabgleich vorgenommen. Dazu muss die Verschlusskappe des Objektivs aufgesetzt werden. Dann muss die Funktion ausgeführt werden. Der Sensor mit seinen Pixeln wird nun „genullt“. Nun ist der jedem Pixel bekannt, dass die Ladung, die sie während der aufgesetzten Verschlusskappe hatten, dem Grauwert 0 entspricht. Jetzt folgt die FFC (Flat Field Correction), bei der die Verschlusskappe abgenommen werden muss. Der Sichtbereich der Kamera sollte nun auf die Beleuchtung ausgerichtet werden. Wichtig ist, dass nur die Fläche der Beleuchtung für die Kamera zu sehen ist. Nun muss die Funktion der FFC ausgeführt werden. Hierbei erfasst der Sensor alle Pixelladungen, die in der Belichtungszeit gesammelt wurden, und bildet den Mittelwert aller Ladungen. Durch einen Offset, positiv oder negativ, werden die Grauwerte der Pixel angeglichen, um so einen homogenen Verlauf zu bekommen. Abbildung 27 zeigt das Ergebnis nach einem angewandten Weißbildabgleich auf Abbildung 25. Das Histogramm (unterer Teil der Grafik) dieser Aufnahme gleicht einer ebenen Fläche, ohne Randlichtabfall. Nun kann gewährleistet sein, dass an jeder Stelle des Messbereiches, der Grauwert des Laminates oder des Kupfers nur sehr gering abweicht. Das spielt eine wichtige Rolle für die Kantenfindung und die Bildung von Grenzwerten. Wie in Kapitel 1 schon erklärt, wird zur Detektion von Kanten ein Grenzwert genutzt. Wenn die Grauwerte eines Material in verschiedenen Bildbereichen stark schwanken, kann es vorkommen, dass am rechten Rand nicht erkannt wird, in der Mitte jedoch schon. Und auch die Messung der Breite einer Ader wird durch solche Schwankungen stark beeinflusst, was im Verlauf der Versuche noch zu sehen ist.

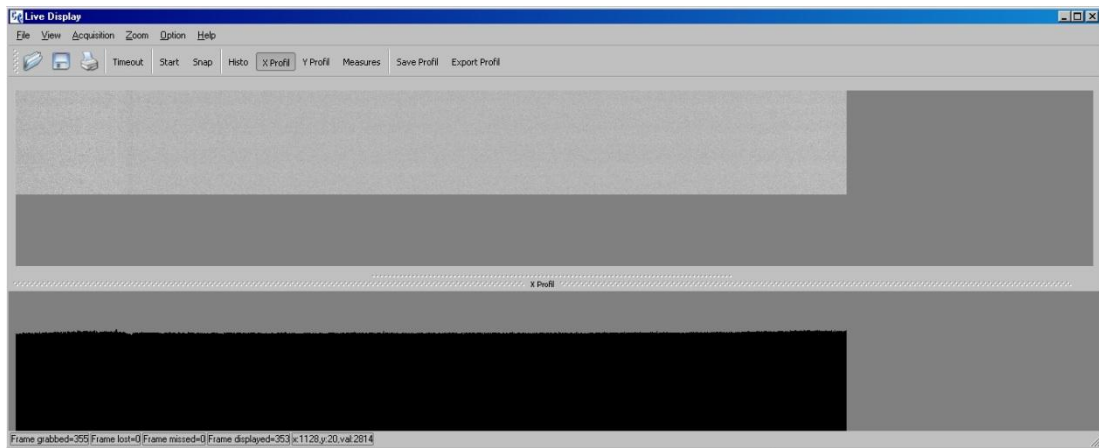


Abbildung 27: Abbildung 1.22 nach erfolgreicher Flat Field Correction

Nachdem das Histogramm geebnet wurde, ist noch ein Nachteil dieser Funktion zu erwähnen. Ein Verändern der Ausrichtung von Kamera und Beleuchtung hat negative Auswirkungen. Wie schon erklärt, hat jeder Pixel der Zeile ein Offset in Bezug auf seinen Grauwert. Ändert sich dieser Grauwert, bleibt der Offset weiterhin erhalten und addiert oder subtrahiert einen Wert. Deshalb muss nach jeder Positionsänderung von Beleuchtung oder Kamera eine Flat Field Correction durchgeführt werden.



Abbildung 28: Flat Field Correction mit Kabelstreifen

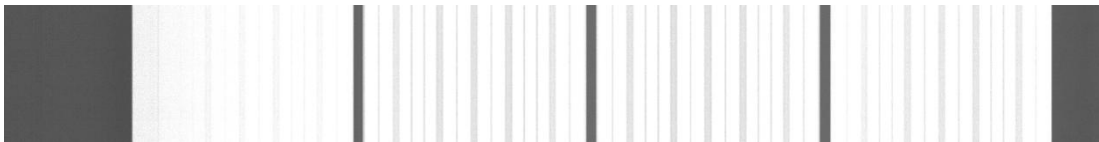


Abbildung 29: Bild nach Entfernung der Kabelstreifen

In den beiden vorhergehenden Abbildungen zeigt die erste das Bild nach einer angewandten Flat Field Correction mit aufgelegten Kabelstreifen. Diesmal wurde nicht wie es sein soll, nur die Beleuchtung für die FFC aufgenommen, sondern die Korrekturfunktion hat den Mittelwert der Helligkeiten der Beleuchtung und der Kabel gebildet. Wenn sich die Position der Kabel ändert, oder sie aus dem Aufnahmebereich entfernt werden, werden auf das Bild weiterhin, bei eingeschaltetem FFC, die Offsets addiert. Wie das ungefähr aussieht, kann in der unteren Abbildung betrachtet werden. Das Muster ist weiterhin zu erkennen und ähnelt einem Negativabdruck. Bei genauer Betrachtung ist auch der Helligkeitsabfall zu erkennen. Die zwei mittleren Kabel besitzen dunklere Linien als die beiden Äußeren. Abschließend ist zu sagen, dass die FFC bei jeder Positionsänderung der Beleuchtung und Kamera einer Aktualisierung unterzogen werden muss.

In Abbildung 30 ist eine Aufnahme des korrigierten Helligkeitsverlaufes mit aufgelegtem Kabeln zu sehen. Bei der Betrachtung fällt ein Schimmern am Rand der einzelnen Kabel

auf. Wie in Kapitel 1 beschrieben, dringt durch Beugung das Licht in den geometrischen Schattenraum ein. Zudem wirkt auch die Reflektion mit ein, da durch das Milchglas, das Licht nicht nur noch senkrecht auf die Kabel trifft, sondern auch quer von der Seite strahlt. Ein Anheben der Messobjekte von der Beleuchtung bringt hier die Verbesserung.

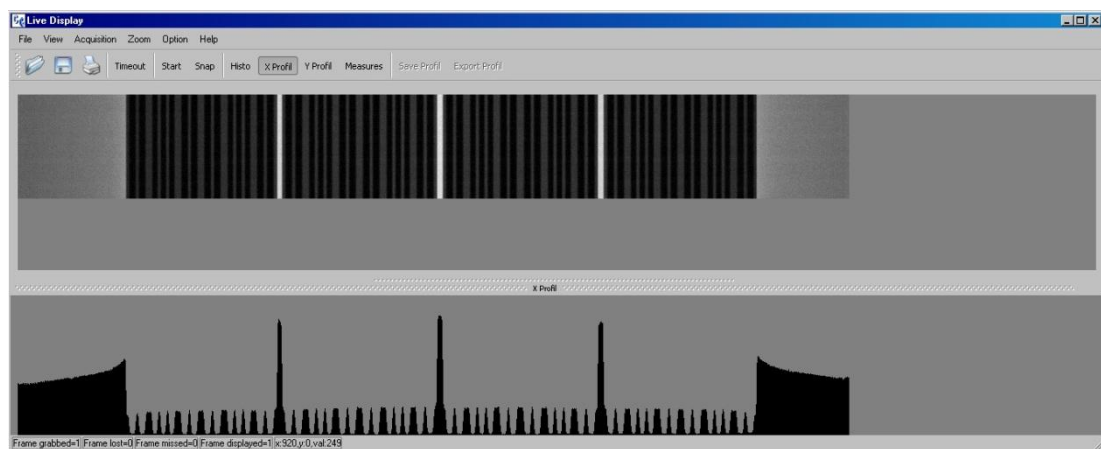


Abbildung 30: Schimmer-Effekt bei Kabelstreifen

Dies hat ein Test mit einem Metallgegenstand gezeigt, der sehr senkrechte Kanten hat. Ein Zusammenhang des Abstandes zwischen Beleuchtung und Messobjekt und der Verringerung des Schimmers ist in Abbildung 31 zu sehen. Von Oben nach Unten sind die Abstände des Metallobjektes 0, 35 und 50 Millimeter. Die Veränderung der Objektbreite in den Histogrammen kommt durch die Fokusänderung

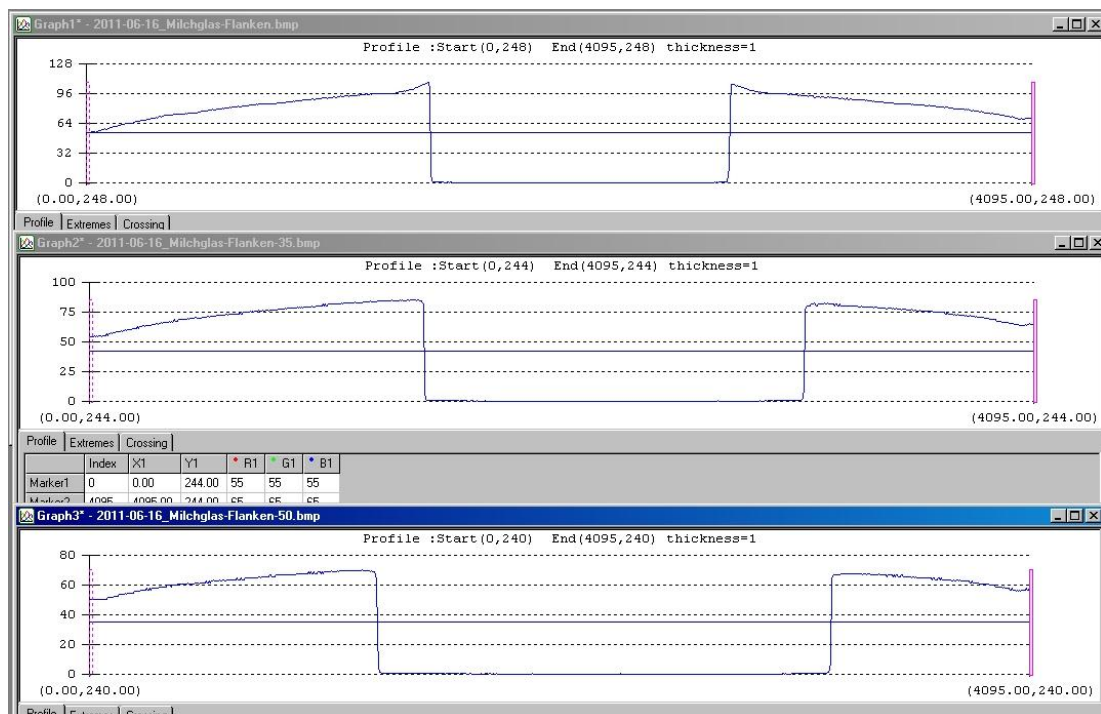


Abbildung 31: Veränderung des Schimmers bei Abstandsänderung

Nachdem die Beleuchtung und Kamera betrachtet wurden und eingestellt sind, kann mit dem nächsten Schritt begonnen werden. Es ist zu prüfen, wie sich die vorgenommenen

Änderungen auf die Messergebnisse ausgewirkt haben. Dazu wird ein vom Hersteller ausgeliehenes Kalibriernormal mit 14 schwarzen Rechtecken verwendet, das von einem Institut aus Jena mit hoher Genauigkeit gemessen wurde. Das wird benötigt, da eine Genauigkeit bei der Breiten- und Positionsbestimmung von wenigen Mikrometern gefordert ist. Weitere Messungen werden mit diesem Glas (Anlage 3) und dem Matrox Inspector 9.0 durchgeführt. Für die Messung wird die Funktion „Measurement“ genutzt. Mit ihr ist es möglich Kanten oder Streifen zu suchen. Hierfür hat sich das Streifensuchen als die geeignete Funktion hervorgehoben. Nachdem ein Suchbereich ausgewählt wurde, der auch das gesamte Bild beinhalten kann, sind weitere Einstellungen möglich. So soll die Funktion nach dunklen Streifen suchen und alle gefundenen grafisch darstellen. Hierfür kann der Kantengrenzwert verändert werden und auch den Kantenfilter (Euler oder Prewitt) festgelegt werden.

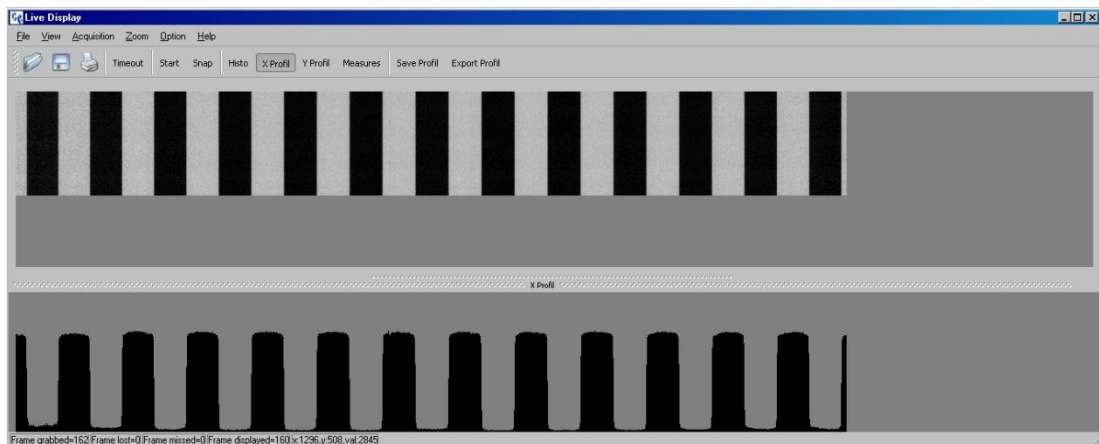


Abbildung 32: Bild und Histogramm vom Kalibrierglas

Eine erste Messung findet alle, auf dem Bild zu sehenden, 13 schwarzen Streifen. Die Streifen geben die Breite der Rechtecke wieder und sind wieder aus einer Zeile zusammengesetzt. Es werden also nicht die vollständigen Rechtecke wiedergegeben. Für die Messung wurden die Einstellungen wie in Abbildung 33 genutzt. Es sollte nach allen negativen Stripes (Streifen) in dem Bild gesucht werden und dazu ein Prewitt-Filter mit einem Kantengrenzwert von 10 benutzt werden. Die Ergebnisse dieser Messung 1 sind in Abbildung 34 zu sehen. Da es bei der Messung um die Breite der einzelnen Stripes geht, wurden diese als einzige betrachtet. Es fällt sofort auf, dass diese voneinander abweichen. Die Anzahl an Pixel pro Stripe wird zu den Rändern des Bildes geringer. Trotz kalibrierten Objektivs wird schnell der Eindruck erweckt, dass es sich wieder um eine Art Randabfall handelt. Doch diesmal ist es wieder ein Problem bei Objektiven, der Verzeichnung. Das Bild wird bei der Aufnahme verzerrt. Der Bildfehler nimmt von der Bildmitte zu den Bildrändern zu. Der Abbildungsmaßstab ändert sich in der Bildebene so, dass es für Messfunktionen sehr störend ist. Da die Breiten zum Rand geringer werden, ist hier von einer tonnenförmigen Verzerrung auszugehen. Dieser kommt gerade bei Zoomobjektiven vor, bei denen die Blende nicht mit verschoben wird.

Auch diesen Effekt kann softwareseitig beseitigt werden. Dafür bietet die Matrox Imaging Library eine Funktion mit dem Namen Calibration. Diese kann Verzerrungen verschiedener Art korrigieren.

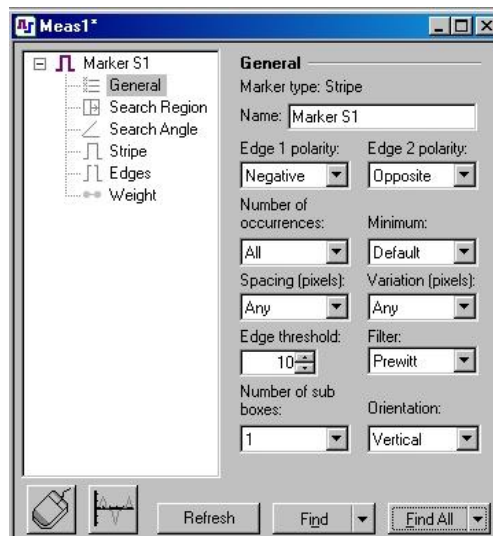


Abbildung 33: Einstellung Messung 1

Markers	Position X	Position Y	Angle	Width	Spacing	Score	Edge Inside
Marker S1							
Stripe 1	130.22	255.50	90.01	155.60	312.94	31.50	0.00
Stripe 2	443.15	255.50	90.01	157.64	316.63	32.13	0.00
Stripe 3	759.78	255.50	90.01	159.28	319.62	31.59	0.00
Stripe 4	1079.40	255.50	90.00	160.64	322.10	31.90	0.00
Stripe 5	1401.51	255.50	90.00	161.72	323.86	29.97	0.00
Stripe 6	1725.37	255.50	90.00	162.55	325.06	29.70	0.00
Stripe 7	2050.43	255.50	90.00	162.86	325.51	28.89	0.00
Stripe 8	2375.93	255.50	89.99	163.00	325.51	28.76	0.00
Stripe 9	2701.45	255.50	90.00	162.87	324.72	31.48	0.00
Stripe 10	3026.17	255.50	90.00	162.21	323.30	32.46	0.00
Stripe 11	3349.46	255.50	90.00	161.31	321.05	30.77	0.00
Stripe 12	3670.51	255.50	90.00	160.05	318.28	28.46	0.00
Stripe 13	3988.79	255.50	90.00	158.42	0.00	30.69	0.00
Statistics							
Minimum	130.22	255.50	89.99	155.60	312.94	28.46	0.00
Mean	2054.01	255.50	90.00	160.63	321.55	30.64	0.00
Maximum	3988.79	255.50	90.01	163.00	325.51	32.46	0.00
Std. Dev.	1256.88	0.00	0.00	2.32	3.99	1.36	0.00

0 Edge(s); 13 Stripe(s) Find Time: 6.64 ms

Abbildung 34: Ergebnisse von Messung 1

Der Ablauf für diese Kalibrierung ist wie folgt. Es wird das zuletzt aufgenommene Bild genommen und ungefähr in der Mitte eine Trennung vollzogen. Dies geschieht mithilfe eines weiß gefüllten Rechteckes, was in das Bild gezeichnet wird und den Buffer überschreibt. Dieses kann in der rechten Zeichenpalette ausgewählt werden. Somit ist das Rechteck nun Teil des Bildes und nicht in einer neuen Ebene eingeordnet. Diese Trennung soll als Vorbereitung für die Calibration-Funktion dienen.

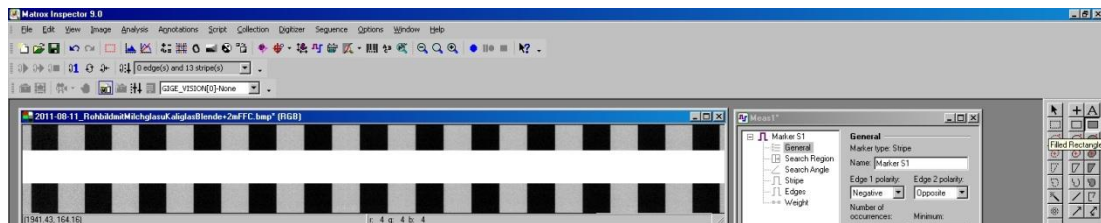


Abbildung 35: Eingezeichnetes Rechteck

Die Calibration-Funktion arbeitet in der Weise, dass sie nach einzelnen Kreisen oder Quadraten sucht, die sich über das gesamte Bild in Reihen und Spalten verteilen. Grundvoraussetzung ist, dass mindestens eine 2 mal 2 Matrix zu finden ist. Mit dieser berechnet es dann die Verzerrung, indem es die Abstände der einzelnen gefundenen Objekte vergleicht. Für diesen Fall wird eine lineare Korrektur ausgewählt und eine Matrix von 2 Reihen und 13 Spalten festgelegt.

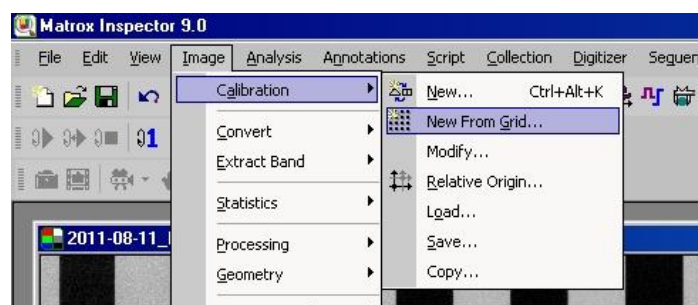


Abbildung 36: Auswahl Calibration mithilfe eines Gitters (Matrix)

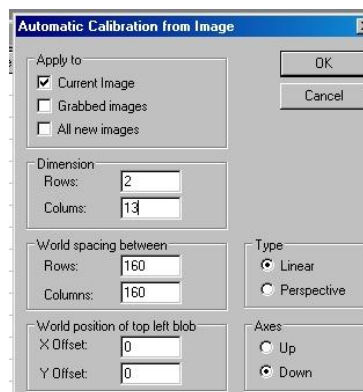


Abbildung 37: Werte eintragen

Da nun das Bild mit der Trennung kalibriert wurde, diese Kalibrierung aber auch auf andere Bilder angewandt werden soll, kann man die Kalibrierwerte speichern oder kopieren. In diesem Fall sollen sie kopiert werden. Nach einem Klick auf Menu Image->Calibration->Copy... erscheint ein Popup (Abbildung 38), in dem ausgewählt wird, von welchem Bild die Kalibrierung kopiert werden soll und auf welches Bild. Ist dies mit OK bestätigt, kann eine neue Messung durchgeführt werden.

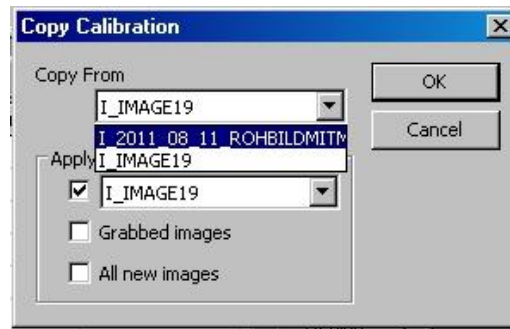


Abbildung 38: Kopiereinstellungen der Calibration

Ein Vergleich der Messergebnisse zeigt, die deutliche Verbesserung der Messtoleranz. Diese hat eine Größe von ungefähr 0,07. Vor der Kalibrierung war die Toleranz bis zu 0,23 Maßeinheiten groß. Es ist auch möglich die realen Maße in Maßeinheiten anzugeben. Dann wird das Ergebnis in Abhängigkeit dieser Referenz berechnet. Die Verbesserung der Messtoleranz wird dadurch aber nicht gefälscht.

Width	Spacing	Score	Edge Inside
4.74	9.54	31.50	0.00
4.81	9.58	32.13	0.00
4.86	9.58	31.59	0.00
4.90	9.58	31.90	0.00
4.93	9.59	29.97	0.00
4.96	9.59	29.70	0.00
4.97	9.59	28.89	0.00
4.97	9.59	28.76	0.00
4.97	9.59	31.48	0.00
4.95	9.60	32.46	0.00
4.92	9.59	30.77	0.00
4.88	9.56	28.46	0.00
4.83	0.00	30.69	0.00
4.74	9.54	28.46	0.00
4.90	9.58	30.64	0.00

Abbildung 39: Vergleich Messung 1 & Messung 2

4 Umsetzungen

In diesem Kapitel wird die Erstellung eines einfachen Tools zur Integration der Kalibrierung des Bildes erläutert werden. Dieses Tool soll die Funktion und eine einfach grafische Oberfläche haben. Die Kalibrierwerte sollen an das CMS übergeben werden.

4.1 Bediener-Interface

Die neue Oberfläche wird im vorhandenen Projekt angelegt. Sie ist recht einfach gehalten und beinhaltet die nötigen Funktionen zur Kalibrierung des Bildes.

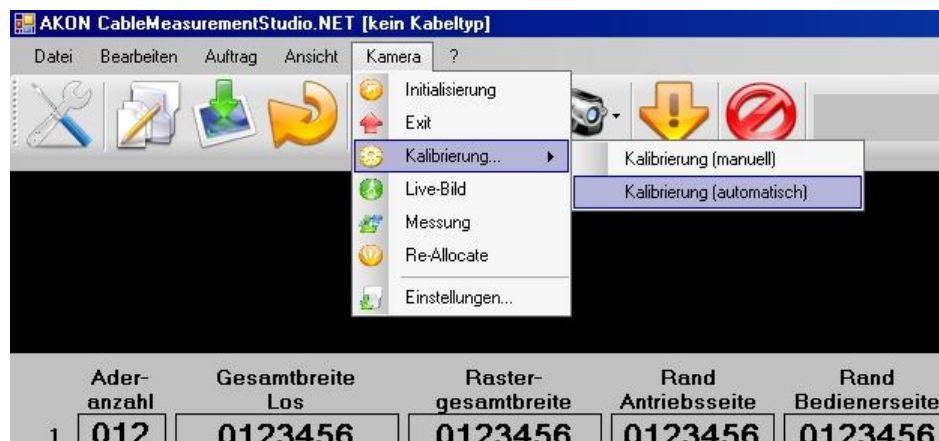


Abbildung 40: Aufruf der automatischen Kalibrierung

Sie wird durch das Menü Kamera->Kalibrierung->Kalibrierung (automatisch) aufgerufen und erscheint als neues Fenster. Abbildung 41 zeigt das Aussehen nach dem Aufruf der Funktion. Sie wurde vom Aussehen den anderen bereits vorhandenen Funktionen angepasst. Im oberen Teil ist kurz erklärt, welche Wirkung sie hat. Darunter wird nach dem Laden des Bildes, dieses auch angezeigt. Unterhalb des Bildfensters ist der Ablauf schrittweise erklärt. Daneben sind die Eingabefelder für die benötigten Parameter. Um die Oberfläche zu beenden ist eine Schaltfläche „Schließen“

Schritte

Zu aller Erst wird durch die Schaltfläche „Bild einlesen“ das Bild von der Kamera eingelesen. Das Format richtet sich dabei nach den Einstellungen der Kamera. Das Bild wird dem Display angepasst.

Der nächste Schritt ist, dem Bild eine Leerzeile einzufügen. Wie im vorherigen Kapitel erklärt, benötigt die Funktion eine Matrix aus mindestens zwei Zeilen und zwei Spalten.

Da die Aufnahme des Kalibrierglases nur Zeilen hat, wird durch das Drücken der Schaltfläche „Leerzeile einfügen“ ein weißes Rechteck in den Bildspeicher hinzugefügt. Wichtig

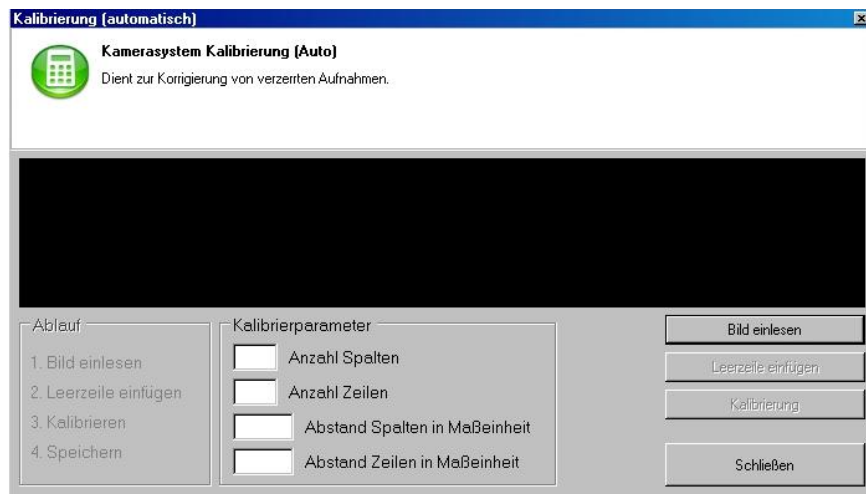


Abbildung 41: Oberfläche nach Aufruf

ist, dass es nun zum Bild „gehört“ und nicht in einer anderen Bildebene vorhanden ist. Nach dem Klick wird die Größe des Bildes erkannt und automatisch die Größe und die Position des Rechteckes ermittelt. Das sieht dann wie in Abbildung 43.



Abbildung 42: Anzeige des geladenen Bildes

Im nächsten Schritt müssen die Parameter für die Kalibrierung eingegeben werden. Dazu gehören die Anzahl der Spalten und Reihen, sowie die Angabe der Weltabstände. Das dient der Umwandlung von Pixelwerten in Weltmaßeinheiten. Bei dem Kalibrierglas ist der Abstand bekannt. Er beträgt 5 Millimeter. Die Toleranz wird hier vernachlässigt.

Der letzte Schritt beinhaltet die Kalibrierung. Dazu muss die Schaltfläche „Kalibrierung“ gedrückt werden. Nun wird das Bild mithilfe der Einstellungen gemessen und danach kalibriert. Als Bestätigung wird die Schaltfläche grün gefärbt und das korrigierte Bild angezeigt, wie in Abbildung 44 zu sehen (kleine schwarze Aussparung).

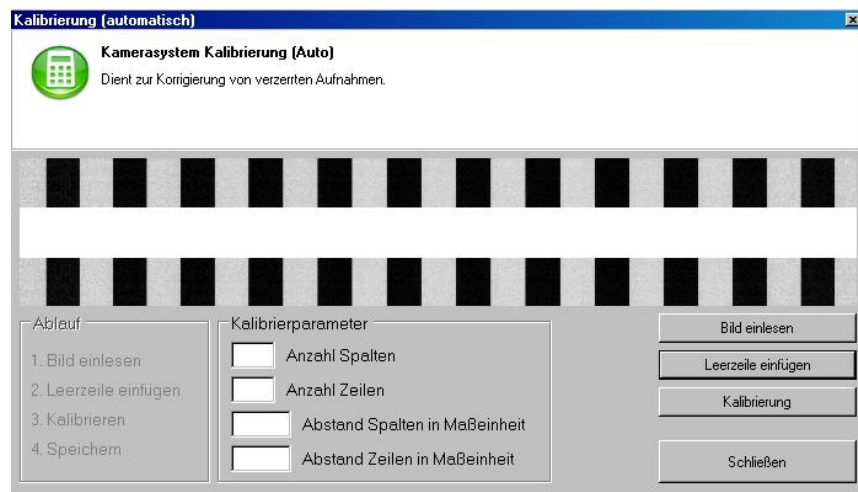


Abbildung 43: Bild mit hinzugefügter Leerzeile

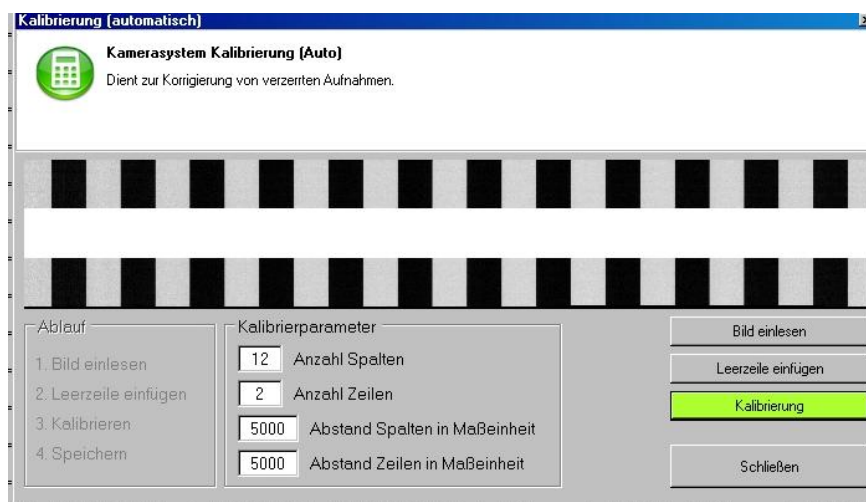


Abbildung 44: Kalibriertes Bild und Parameter

Zur Verdeutlichung solch einer Kalibrierung soll Abbildung 45 helfen. Hier ist die Veränderung groß. Das Punkterasterbild ist aus der MIL-Bibliothek um den Effekt der Kalibrierungsfunktion anschaulich zu machen. Bei dem Punkteraster ist eine deutliche Verzerrung zu erkennen. Das Einfügen der Leerzeile wäre hier sogar unnötig und ist nur gemacht worden, weil sonst die Schaltfläche für die Kalibrierung nicht freigeschaltet wird. Dies ändert am Ergebnis nichts. Es ist eine deutliche Verbesserung zu sehen. Die Punkte sind nun gerade ausgerichtet und weisen nun gleiche Zeilen- und Spaltenabstände auf.

Nach der Kalibrierung werden die Kalibrierdaten automatisch an das Hauptfenster und deren Bildpuffer zugewiesen. Somit werden ab dieser Kalibrierung alle Aufnahmen anhand der Daten korrigiert um zu einem genaueren Messergebnis zu kommen.

Bei Stromausfall oder Positionsänderungen ist es notwendig, die Kalibrierung neu auszuführen. So wird sichergestellt, dass die Kalibrierdaten aktuell und aktiv sind.

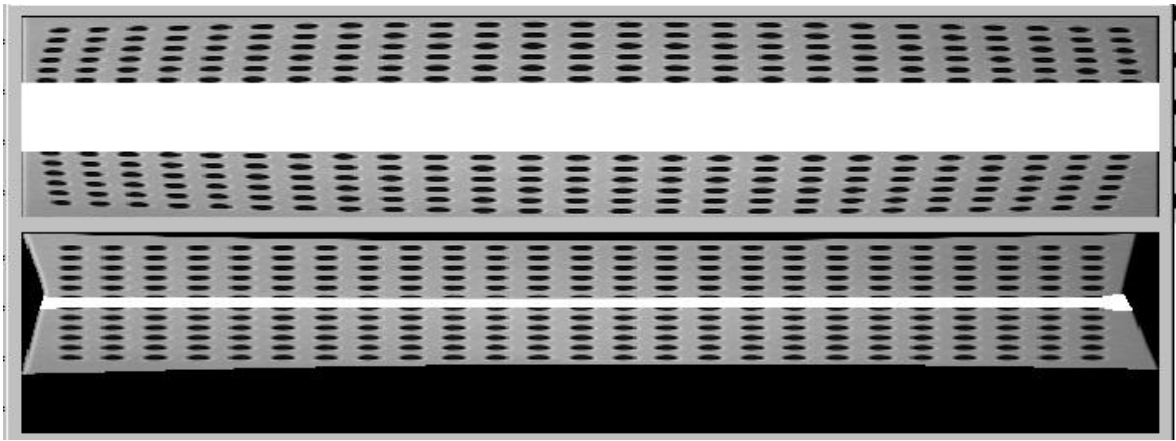


Abbildung 45: Vorher-Nachher einer Kalibrierung

4.2 Überblick Quellcode

In Anlage 3 ist der Code der neu erstellen „fCalibrationA.vb“ zu finden. Er besteht aus 3 wesentlichen Bestandteilen:

- Initialisierung der Objekte für die Oberfläche
- Programmablauf nach Klick einer Schaltfläche
- Eingabeabfragen

Jedes Objekt muss initialisiert werden. Dazu gehört, dass es einem System zugewiesen wird, was in diesem Fall das Systemobjekt des Hauptfensters ist. Weiter muss ein Speicherbereich reserviert werden. Dies wird mit „Objekt.allocate()“ gemacht. Um sicherzustellen, dass das gleiche Objekt nicht doppelt initialisiert wird, wird dies vorher abgefragt. Danach sind nun alle benötigten Objekte zugänglich und haben einen Speicherbereich für ihre Ressourcen.

Die Unterprogramme für die einzelnen Schaltflächen werden nach einem Klick-Ereignis ausgeführt. Um das Bild einzulesen ist es wichtig, dass geprüft wird, ob die Kamera in Betrieb ist und gerade aufnimmt. Ist dies der Fall, kann kein Bild in einen zweiten Bildpuffer eingelesen werden. Ist dies nicht der Fall, wird die Funktion zum Einlesen aufgerufen und der Bildpuffer des Hauptfensters in den der Kalibrieroberfläche kopiert. Nun muss das Bild dem Anzeigefenster zugewiesen werden und das Bild an die Größe des Anzeigefensters angepasst werden. Dies wird mit den Befehlen „DisplayCaIA.Image = ImageBufferCaIA“ und „DisplayCaIA.FillDisplay = True“ realisiert. Nun werden noch Schaltflächen und ein Status geändert.

Das Prinzip des Einfügens der Leerzeile wurde bereits erklärt. Es wird ein Rechteck mit „GraphicCaIA.Rectangle(True, 0.0)“ eingefügt. Dieses wird vorher noch an die Größe des Bildes angepasst. Dazu werden mehrere Rechenoperationen durchgeführt. Die „0.0“ steht für den Winkel, den das Rechteck bekommen soll.

Im Unterprogramm für die Kalibrierung werden zuerst Ursachen für Fehler abgefragt. Danach wird die Funktion voreingestellt. Dafür werden die Eingabewerte aus der Oberfläche kopiert und der Funktion zugewiesen. Mit dem Befehl „CalIA.CalibrateGrid(ImageBufferCalA)“ wird die Funktion aufgerufen. Sie berechnet anhand von einem Gitter, welches sie im Bild des „ImageBufferCalA“ sucht, die Korrekturdaten. Ist das Bild kalibriert, werden optische Signale gesetzt (z.B. Grünfärbung Schaltfläche), das Bild wird in der korrigierten Form dargestellt und ein Dialogfenster wird aufgerufen, um die Daten abzuspeichern. Dem Bild im Hauptfenster werden die neuen Korrekturdaten übermittelt.

Für die Eingabe der Parameter gibt es schließlich noch ein Kontrollunterprogramm, das prüft, ob die eingegebenen Werte auch numerisch sind.

Beim Schließen der Oberfläche werden die Objekte wieder freigegeben, sodass ihr reservierter Speicherbereich wieder für andere Prozesse zu Verfügung steht.

Die Programmierung mit der MIL war relativ leicht zu erlernen. Denn mit wenigen Zeilen konnte die von Matrox angebotene Funktion in das bestehende Programm integriert werden. Unterstützende war auch die umfangreiche Hilfe für die MIL, in der alle Vorgänge und Funktionen beschrieben sind.

5 Ergebnisse / Ausblick

In diesem abschließenden Kapitel wird ein Resümee der gewonnenen Erkenntnisse gezogen und die Ergebnisse kurz ausgewertet.

5.1 Ergebnisse

Es ist gelungen sehr viele Erkenntnisse zu gewinnen. Dies gilt im Bezug mit der eingesetzten Hardware sowie der Matrox Imaging Library. Diese bietet sehr viele Möglichkeiten für eine Kameralösung. Das Funktionsangebot ist groß und nach einer Einarbeitungszeit sehr einfach und verständlich. Und gerade diese Einarbeitungszeit ist es, die den Unterschied zu OMRON bringt. OMRON hat eine intuitive Oberfläche und mit wenigen „Klicks“ ist ein Ablauf für eine Kamerakontrolle erstellt. Matrox bietet gleiche Funktionen, muss aber für jeden Fall neu programmiert werden. Die Messergebnisse haben sich durch die reichlichen Maßnahmen deutlich verbessert. Die Länge der Beleuchtung ist zu beachten, da besonders Linienlichter zum Rand einen Helligkeitsabfall haben. Durch einen Diffusor kann das Licht gleichmäßiger verteilt werden und ein homogeneres Bild erzeugen, als direkte Beleuchtung. Die Funktion der Kamera beseitigt den restlichen Helligkeitsabfall zum Rand und kalibriert die Pixel der Zeilenkamera. Die richtige Fokussierung und der Abstand des Messobjektes zur Beleuchtung spielt ebenfalls eine Rolle. Dadurch werden die Kanten schärfer, die Konturen deutlicher und Lichteffekte wie Beugung verhindert. Da all diese Faktoren beachtet wurden, konnte das grundsätzliche Anfangsproblem des Randlichtabfalls beseitigt werden. Dass dies nicht der einzige Grund für die Messabweichungen war, hat sich während der Versuche gezeigt. Die Verzerrung konnte durch die Funktionen der MIL korrigiert werden, sodass jetzt eine deutlich verringerte Toleranz beim Messen auftritt. Nun sollte es auch möglich sein, verschiedene Kabeltypen durch diese Kontrollstation auf ihre Qualität zu überprüfen.

5.2 Ausblick

Die Matrox Imaging Library hat sich hier als sehr nützliche Software erwiesen. Der weitere Einsatz sollte überdacht werden, da sie viele Kombinationsmöglichkeiten und Fähigkeiten besitzt. Durch eine einmalige Erstellung einer Benutzeroberfläche, wäre es möglich, diese auf die jeweils anfallenden Kameraprojekte anzupassen und die benötigten Funktionen zu integrieren. Das würde einen höheren Programmieraufwand bedeuten, wie es beispielsweise bei OMRON der Fall ist. Da die MIL mit Visual Studio zusammen arbeitet, was bei OMRON nur begrenzt der Fall ist, stehen hier alle Methoden und Objekte von Visual Studio zur Verfügung plus die Funktionen der Matrox Imaging Library. Damit können umfangreiche und leistungsfähige Anwendungen erstellt werden.

Index

Analyse 18

Auflicht 13

Bediener-Interface 32

Beleuchtung 12

Beugung 6

Brechung 5

Dunkelfeldbeleuchtung 13

Durchlicht 13

Flexible-Flat-Cables 11

Handleuchtstab 22

Kalibriernormal 28

LED-Linienlicht 22

Linearfilter 8

Matrox 15

Milchglas 23

OMRON 13

Prewitt 10

Randlichtabfall 24

Reflexion 4

Sobel 9

Testinspektionen 18

Umsetzungen 32

Literatur

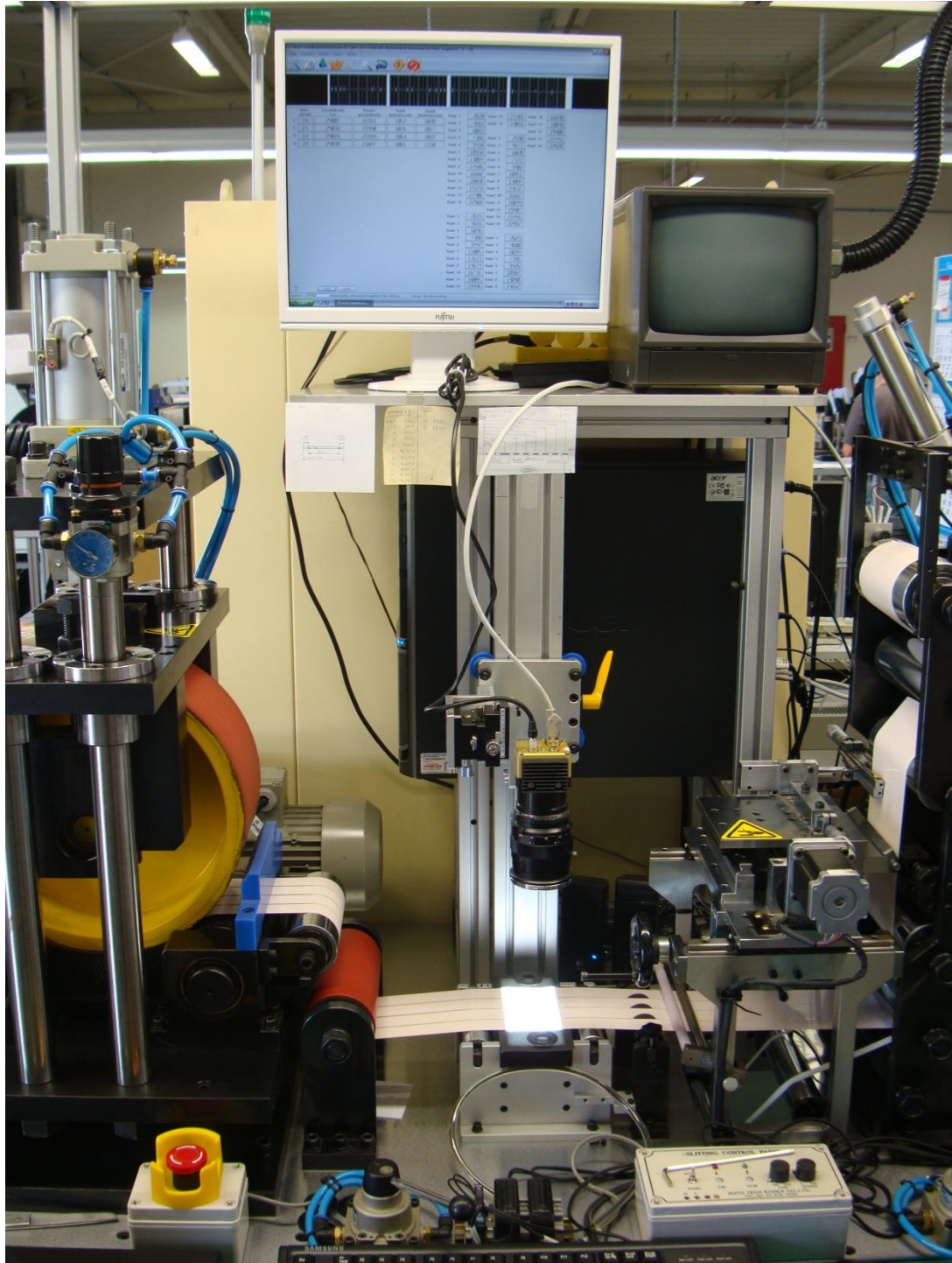
- [DeStSp2010] Demant, Christian ; Streicher-Abel, Bernd ; Springhoff, Axel: Industrielle Bildverarbeitung: Wie Optische Qualitätskontrolle Wirklich Funktioniert, 3. Aufl., Berlin ; Heidelberg, Springer-Verlag, 2010.
- [Eichler2007] Eichler, Jürgen: Physik: Grundlagen für das Ingenieurstudium - kurz und prägnant, 3., überarb. und erg. Aufl., Wiesbaden , Vieweg, 2007.
- [ZiZi2009] Zinth, Wolfgang ; Zinth, Ursula: Optik: Lichtstrahlen – Wellen – Photonen, 2. Aufl., München ; Wien, Oldenbourg, 2009.
- [Reckn1986] Recknagel, Alfred: Physik - Optik, 12. unv. Aufl., Berlin, VEB Verlag Technik, 1986.
- [Granger1989] Granger, Pierre Marie: Die Optik in der Bildgestaltung: eine Anleitung zum Umgang mit der Optik in der Fotografie, bei Film- und Viedo-Aufnahmen, 1. Aufl., Würzburg, Vogel, 1989.

Anlagen

Teil 1	A-1
Teil 2	A-2
Teil 3	A-3
Teil 4	A-4

Anlagen, Teil 1

Aufbau der Prüfstation beim Hersteller.



Anlagen, Teil 2

Aufbau des Versuchstandes mit

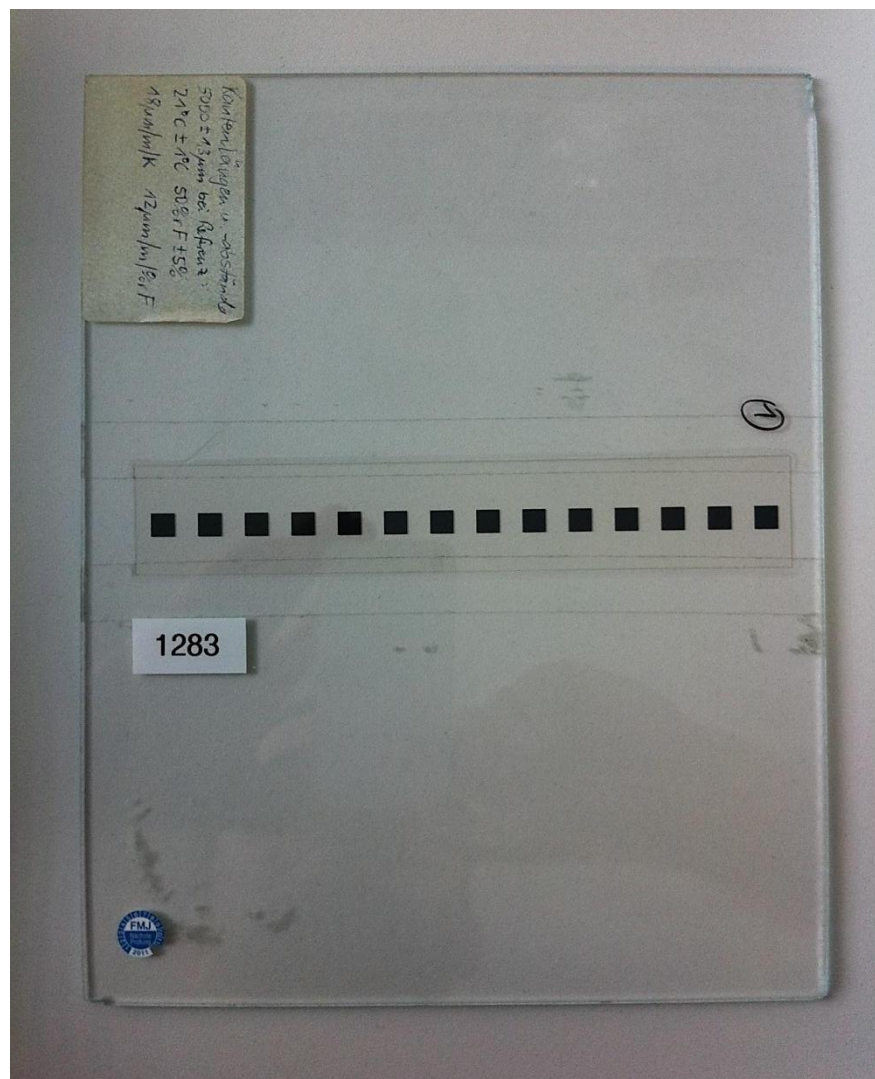
- Verstellbarer Halterung für beide Kameratypen
- Tisch mit Linienlicht und Milchglas



Anlagen, Teil 3

Kalibriernormal mit 14 schwarzen Rechtecken

- Kantenlängen und -abstände:
 - $5000 \pm 1,3 \mu\text{m}$ bei Referenz:
 - $21^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$
 - $50\% \text{ rF} \pm 5\%$
 - $18 \mu\text{m/m/K}$
 - $12 \mu\text{m/m/\% rF}$



Anlagen, Teil 4

Quellcode für "fCalibrationA.vb":

```
Imports Matrox.ActiveMIL
Imports Matrox.ActiveMIL.Calibration

Public Class fCalibrationA

    Dim isCalibrated As Boolean

    Private Sub fCalibrationA_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        ImageBufferCalA.OwnerSystem = fMain.milSystem
        DisplayCalA.OwnerSystem = fMain.milSystem
        GraphicCalA.OwnerSystem = fMain.milSystem
        If Not ImageBufferCalA.IsAllocated Then
ImageBufferCalA.Allocate()
        If Not DisplayCalA.IsAllocated Then DisplayCalA.Allocate()
        If Not GraphicCalA.IsAllocated Then GraphicCalA.Allocate()
        If Not CalA.IsAllocated Then CalA.Allocate()

        btn_ldImage.Enabled = True
        btn_drawBox.Enabled = False
        btn_calibrate.Enabled = False
        GroupBox2.Enabled = False
    End Sub
    Private Sub btn_ldImage_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles btn_ldImage.Click

        If fMain.milDigitizer.GrabInProgress Then
            MsgBox("Bildaufnahme noch in Betrieb. Bitte erst alles
stoppen!", MsgBoxStyle.OkOnly, "Kamera in Betrieb!")
        Else
            fMain.milDigitizer.Grab()
            ImageBufferCalA.Copy(fMain.milImage)

            DisplayCalA.Image = ImageBufferCalA
            DisplayCalA.FillDisplay = True

            isCalibrated = False

            btn_drawBox.Enabled = True
            btn_calibrate.Enabled = False
            btn_calibrate.BackColor = Color.Red
            GroupBox2.Enabled = False
        End If
    End Sub
    Private Sub btn_drawBox_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btn_drawBox.Click
        With GraphicCalA
            .OwnerSystem = fMain.milSystem
            If Not .IsAllocated Then .Allocate()

            Dim Box_Size_X As Integer
```

```

Dim Box_Size_Y As Integer
Dim Box_Start_X As Integer
Dim Box_Start_Y As Integer
Dim Box_End_X As Integer
Dim Box_End_Y As Integer

Box_Size_X = ImageBufferCalA.SizeX
Box_Size_Y = ImageBufferCalA.SizeY / 3
Box_Start_X = 0
Box_Start_Y = (ImageBufferCalA.SizeY / 2) - (Box_Size_Y / 2)
Box_End_X = ImageBufferCalA.SizeX
Box_End_Y = (ImageBufferCalA.SizeY / 2) + (Box_Size_Y / 2)

.DrawingRegion.SizeX = Box_Size_X
.DrawingRegion.SizeY = Box_Size_Y
.DrawingRegion.StartX = Box_Start_X
.DrawingRegion.StartY = Box_Start_Y
.DrawingRegion.EndX = Box_End_X
.DrawingRegion.EndY = Box_End_Y

.Rectangle(True, 0.0)
End With

btn_calibrate.Enabled = True
GroupBox2.Enabled = True
End Sub
Private Sub btn_calibrate_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles btn_calibrate.Click
    If Not isCalibrated Then
        If txt_columns.Text = "" Or txt_rows.Text = "" Or
txt_spacingColumns.Text = "" Or txt_spacingRows.Text = "" Then
            MsgBox("Zeilen- oder Spaltenwert ist nicht korrekt oder
fehlt!", MsgBoxStyle.OkOnly, "Fehler beim Parametrieren!")
        Else
            With CalA
                Try
                    '.CalibrationMode =
CalCalibrationModeConstants.calCalibrationModeDefault
                    .Grid.NumberOfColumns = CInt(txt_columns.Text)
                    .Grid.NumberOfRows = CInt(txt_rows.Text)
                    .Grid.ColumnSpacing =
CInt(txt_spacingColumns.Text)
                    .Grid.RowSpacing = CInt(txt_spacingRows.Text)
                    .CalibrateGrid(ImageBufferCalA)

                    If .CalibrationStatus =
CalCalibrationStatusConstants.calCalibrated Then
                        btn_calibrate.BackColor = Color.GreenYellow
                        btn_calibrate.Enabled = False
                        btn_drawBox.Enabled = False
                        .CorrectImage(ImageBufferCalA,
ImageBufferCalA, CalInterpolationModeConstants.calBilinear,
CalOverscanModeConstants.calOverscanClear)
                        .Save("")
                        isCalibrated = True
                        fMain.milImage.Calibration = CalA
                        fMain.milDigitizer.Calibration = CalA
                    End If

                    Catch ex As Exception
                        If .CalibrationStatus =
CalCalibrationStatusConstants.calGridNotFound Then MsgBox("Kein passendes

```

```

Gitter gefunden. Bitte Parameter überprüfen.", MsgBoxStyle.OkOnly, "Kein
Gitter gefunden!")

        If .CalibrationStatus =
CalCalibrationStatusConstants.calNotInitialized Then
MsgBox("Initialisierung fehlgeschlagen!", MsgBoxStyle.OkOnly, "Schwerer
Fehler!")

            End Try
        End With
    End If
End If
End Sub
Private Sub txt_spacingRows_TextChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
txt_spacingRows.TextChanged, txt_spacingColumns.TextChanged,
txt_rows.TextChanged, txt_columns.TextChanged
    If Not IsNumeric(txt_columns.Text) Then txt_columns.Clear()
    If Not IsNumeric(txt_rows.Text) Then txt_rows.Clear()
    If Not IsNumeric(txt_spacingRows.Text) Then
txt_spacingRows.Clear()
    If Not IsNumeric(txt_spacingColumns.Text) Then
txt_spacingColumns.Clear()
End Sub
Private Sub btn_close_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btn_close.Click
    Me.Close()
    If CalA.IsAllocated Then CalA.Free()
    If GraphicCalA.IsAllocated Then GraphicCalA.Free()
    If DisplayCalA.IsAllocated Then DisplayCalA.Free()
    If ImageBufferCalA.IsAllocated Then ImageBufferCalA.Free()
End Sub
Private Sub btn_setupCalA_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles btn_setupCalA.Click
    CalA.ShowPropertyPages()
End Sub
End Class

```

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mischütz, den 19.08.2011

Jan Müller